

**CAUSES, CONSÉQUENCES ET PRÉVENTION
DES EXPLOSIONS DUES A L'EMPLOI DES
GAZ ANESTHÉSQUES EN SALLE D'OPÉRATION**

THÈSE

présentée à la

**FACULTE MIXTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE
DE LYON**

et soutenue publiquement le 29 janvier 1963
POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MEDECINE

par

LE BRAS Jean-Yves

né le 26 décembre 1935, à Rennes (Ille-et-Vilaine)



LYON

IMPRIMERIE NOUVELLE LYONNAISE

3, Rue Sainte-Catherine, 3

—
1963

CAUSES, CONSÉQUENCES
ET PRÉVENTION DES EXPLOSIONS DUES
A L'EMPLOI DES GAZ ANESTHÉSQUES
EN SALLE D'OPÉRATION



PERSONNEL DE LA FACULTE

Doyen honoraire : M. J. LEPINE, Membre de l'Institut
Doyen : M. H. HERMANN, Correspondant de l'Institut
Assesseurs : MM. M. LEVRAT, L. REVOL

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. COLLET, GUIART, PATEL, LEPINE, TRILLAT, MOURIQUAND, MAZEL,
GARIN, GATE, MARTIN, GABRIELLE, SANTY, DUCLOS, GUILLEMINET

PROFESSEURS

Physiologie A	MM. HERMANN
Clinique urologique	CIBERT
Physique biologique	PO NTHUS (Beyrouth)
Clinique neuro-psychiatrique et hygiène mentale...	DECHAUME
Thérapeutique chirurgicale et chirurgie opératoire..	ROCHET
Chimie organique et toxicologie	CHAMBON
Clinique chirurgicale B	WERTHEIMER
Clinique médicale B	PAUPERT-RAVAULT
Clinique et prophylaxie cardio-vasculaires.....	FROMENT
Clinique médicale C	CROIZAT
Chimie biologique et médicale.....	ENSELME
Clinique chirurgicale A	MALLET-GUY
Pharmacie galénique et matière médicale.....	REVOL
Clinique gynécologique	POLLOSSON
Clinique obstétricale	PIGEAUD
Médecine du travail.....	BOURRET
Clinique médicale A	LEVRAT
Hygiène et action sanitaire et sociale.....	SOHIER
Clinique médicale infantile et hygiène du premier âge	BERNHEIM
Biologie médicale et pharmacodynamie.....	JOURDAN
Botanique et cryptogamie	NETIEN
Clinique chirurgicale C	BERTRAND
Chimie analytique pharmaceutique.....	BADINAND
Pharmacie chimique et pharmacologie.....	DREVON
Médecine légale et déontologie.....	ROCHE
Parasitologie et pathologie exotique.....	COUDERT
Clinique d'oto-rhino-laryngologie et d'audio-phono-	
logie	MOUNIER-KUHN
Clinique ophtalmologique	PAUFIQUE
Clinique de dermatologie, syphiligraphie et aller-	
gologie	THIERS
Clinique de pneumo-physiologie	BRUN
Clinique traumatologique des membres.....	CREYSSSEL Jean
Cancérologie	DARGENT
Anatomie pathologique	GUICHARD
Pathologie générale et expérimentale.....	GIRARD Paul
Anatomie	LATARJET
Pathologie chirurgicale	PEYCELON
Thérapeutique	GIRARD Marcel
Pathologie médicale	VACHON
Physio-pathologie des voies respiratoires	GALY
Radiologie	PAPILLON
Clinique des maladies infectieuses	JEUNE
Hydrologie therap., climatologie et écologie sociale.	GONIN
Bactériologie	MONNET
Physiologie et pathologie obstétricales.....	BANSSILLON
Physiologie B	CHATONNET
Clinique endocrinologique	GUINET
Clinique de chirurgie orthopédique	TRILLAT
Clinique stomatologique	FREIDEL
Clinique de chirurgie et d'orthopédie infantiles....	MARION Joseph
Histologie	X...

PROFESSEUR A TITRE PERSONNEL

Physique nucléaire appliquée à la médecine.....	MM. BERGER
Technologie pharmaceutique	DORCHE
Physiologie	CIER J. F.
Bactériologie	BERTOYE

PROFESSEURS TITULAIRES SANS CHAIRE

Parasitologie	MM. ROMAN
Pharmacie chimique et pharmacologie.....	CIER André
Chimie organique et toxicologie.....	PERROT

MAITRES DE CONFERENCES AGREGES

Médecine :

Anatomie pathologique	MM. FEROLDI
Chimie biologique et médicale	CREYSSEL Roger
Anatomie	DUROUX
Thérapeutique	BRETTE
Histologie	DUMONT
Hygiène	THIVOLET
Parasitologie	GARIN
Physique	MORET
Anatomie	BOUCHET
Anatomie pathologique	TOMMASI
Hygiène	RIFFAT
Pathologie expérimentale	JOUVET
Hématologie	FAVRE-GILLY

Pharmacie :

Botanique et cryptogamie	MM. ODDOUX	Chimie biologique.	MM. GRAS
Chimie analytique.	MALLEIN	Physique	PEYRIN

AGREGES EN EXERCICE

Médecine générale	MM. PONT
Médecine générale	VIGNON
Médecine générale	REVOL
Médecine générale	PLAUCHU
Médecine générale	TRAEGER
Chirurgie générale	MARION
Chirurgie générale	MICHAUD
Chirurgie générale	JAUBERT DE BEAUJEU
Chirurgie générale	SAUTOT
Chirurgie générale	GUILLEMIN
Obstétrique	BURTHIAULT
Oto-rhino-laryngologie	GIGNOUX
Pédiatrie	FRANÇOIS
Médecine générale	DEVIC
Médecine générale	DESPIERRES
Chirurgie générale	DE MOURGUES
Chirurgie générale	FRANCILLON
Chirurgie générale	SAUBIER
Dermatologie	COLOMB
Médecine légale	COLIN
Médecine du travail	TOLOT
Neuro-psychiatrie	GUYOTAT
Neuro-psychiatrie	SCHOTT
Obstétrique	DUMONT
Ophtalmologie	BONAMOUR
Urologie	DURAND
Médecine générale	GARDE
Médecine générale	PERRIN
Médecine générale	LARBRE
Médecine générale	MORNEX
Médecine générale	NORMAND
Chirurgie générale	MARET
Chirurgie générale	DESCOTES
Electro-radiologie	CHASSARD
Neuro-chirurgie	ALLEGRE
Ophtalmologie	HUGONNIER
Orthopédie	FAYSSE
Oto-rhino-laryngologie	GAILLARD
Pneumo-phtisiologie	KALB

EXAMINATEURS DE LA THESE

MM. MALLET-GUY, *Président*; DARGENT, LATARJET,
GUILLET, *Assesseurs*.

A MA FEMME

Pour le soutien qu'elle m'apporte et la part qu'elle a prise à la réalisation de ce travail.

A MA FILLE

A MA GRAND-MERE

A MES PARENTS

En témoignage de ma reconnaissance pour tout ce que je leur dois.

A MES BEAUX-PARENTS

A mon beau-père dont l'aide me fut précieuse au cours de la rédaction de cette thèse.

A MON FRERE

A MA FAMILLE

A MES AMIS

A NOTRE PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur MALLET-GUY

Chirurgien des Hôpitaux

Professeur de Clinique chirurgicale

Il nous a fait l'honneur d'accepter la
présidence de cette Thèse.

Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de
notre très respectueuse gratitude.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

A NOS JUGES

Monsieur le Professeur M. DARGENT

Chirurgien des Hôpitaux

Il nous a accueilli dans son service avec une extrême bienveillance,

Nous tenons à lui exprimer ici notre gratitude pour l'intérêt qu'il a bien voulu nous porter et pour l'honneur qu'il nous fait en siégeant dans notre jury de Thèse.

Monsieur le Professeur M. LATARJET

Chirurgien des Hôpitaux

Pendant six mois nous avons bénéficié de son accueil et de son enseignement.

Alors que nous n'étions dans son service qu'un stagiaire de passage, il nous a fait l'honneur de nous témoigner des marques de confiance et d'intérêt qui nous ont particulièrement touché.

Nous le remercions vivement d'avoir bien voulu juger ce travail.

Monsieur le Professeur-Agrégé GUILLET

A la façon dont il nous a soutenu et guidé tout au long de ce travail qu'il nous avait confié, nous nous sommes vite aperçu qu'il nous portait au-delà d'un simple intérêt professionnel, une grande bienveillance à laquelle nous avons été particulièrement sensible.

Nous lui demandons de bien vouloir trouver ici le respectueux témoignage de notre reconnaissance.

A Monsieur le Docteur R. DELEUZE

Anesthésiste Réanimateur des Hôpitaux

Son aide et ses conseils nous ont été
précieux.

Nous l'en remercions vivement.

A Monsieur le Docteur R. CHACORNAC

Anesthésiste Réanimateur

Il nous a encouragé et conseillé utilement
pour certaines parties de ce travail.

Nous lui exprimons notre sincère amitié.

A NOS MAITRES DES HOPITAUX DE RENNES

A Monsieur le Professeur LAMACHE

Professeur de Clinique médicale

Doyen de la Faculté Mixte de Médecine et de Pharmacie de Rennes

Officier de la Légion d'honneur

Membre correspondant de l'Académie Nationale de Médecine

A Monsieur le Professeur BOURGUET

Professeur de Clinique oto-rhino-laryngologique

A Monsieur le Professeur LEROY

Professeur de Clinique des Maladies Infectieuses

A Monsieur le Docteur BAUCHART

Chef de Service d'Urologie

A Monsieur le Docteur PAILHERET

Chef de Service de Dermatologie

Nous leur exprimons notre gratitude pour
l'enseignement qu'ils nous ont donné au cours
de nos années d'externat.

A NOS MAITRES DE LA FACULTE MIXTE
DE MEDECINE ET DE PHARMACIE DE RENNES

En reconnaissance de leur enseignement.

INTRODUCTION

Les accidents dus aux explosions en salle d'opération font actuellement au minimum cinq morts par an en Grande-Bretagne.

Bien qu'en France aucune statistique officielle n'ait été établie à ce sujet, rien ne permet de penser que le nombre de victimes dû à ces accidents y soit proportionnellement inférieur.

Pour évaluer en première approximation l'importance du problème et en ne tenant compte que des accidents mortels, nous sommes donc autorisés à admettre que dans les conditions actuelles les explosions en salle d'opération font sans doute en France au minimum quatre à cinq morts par an, soit un décès pour 550.000 anesthésies.

Comparé au risque opératoire global qui est de l'ordre de un décès pour mille, le risque de mort par explosion n'en constitue qu'une faible part, théoriquement 1/550.

Comparé au risque lié à la circulation automobile, par exemple, il apparaît également restreint puisque les accidents de la route font actuellement au total plus de 8.200 morts par an en France pour 8 millions et demi de véhicules à moteur en circulation, soit environ 1 décès chaque année pour 1.000 véhicules à moteur.

Ces quelques chiffres nous permettent donc d'interpréter le risque d'explosion anesthésique comme relativement faible, mais nullement négligeable.

Par ailleurs, deux constatations s'imposent au sujet de ce risque d'explosion :

— Il est en lui-même sans rapports avec la gravité de l'intervention.

Alors que le risque opératoire proprement dit ne peut être entièrement annulé quelles que soient les techniques utilisées, le risque d'explosion, au contraire, est susceptible d'être radicalement supprimé puisque son existence dépend avant tout du choix d'une technique.

Or, pour ces deux raisons, le risque d'explosion nous paraît engager très lourdement et sous toutes ses formes la responsabilité de ceux qui le prennent, quelle que soit la rareté des accidents signalés.

Enfin, il est à peine nécessaire de rappeler le retentissement qu'ont de tels accidents dans le public en raison de leur aspect dramatique : chacun a pu en lire les échos dans la grande presse et on a pu dire à ce sujet qu'une seule explosion fatale recevait plus de publicité que cent exitus par complications pulmonaires post-opératoires.

Nous nous proposons donc d'envisager dans son ensemble le problème posé par ce danger d'explosion dans le but d'en étudier toutes les conséquences et de voir quelles sont les possibilités pratiques d'en réduire ou d'en supprimer le danger, et à quel prix.

Pour cela nous adopterons le plan suivant :

I. — DONNEES GENERALES DU PROBLEME

Causes :

- Principe général.
- Application à l'analyse des facteurs d'explosion en salle d'opération :
 - qualitativement,
 - quantitativement.

Prévention :

- Principe général.
- Application à l'élimination des facteurs d'explosion en salle d'opération.

Conséquences :

— Effets sur l'organisme selon le siège et les modalités de l'explosion.

— Conséquences habituelles en pratique :

pour l'opéré,

pour le personnel de la salle d'opération.

**II. — EXPOSE ET DISCUSSION DE CINQ CAS CONCRETS
DE TELLES EXPLOSIONS A LA LUMIERE DE CETTE ETUDE
GENERALE**

**III. — EVALUATION DE LA FREQUENCE ET DE LA GRAVITE
DE CES ACCIDENTS EN PRATIQUE, DONNEES
STATISTIQUES**

IV. — ASPECT MEDICO-LEGAL DU PROBLEME

V. — CONCLUSIONS

CHAPITRE I

DONNÉES GÉNÉRALES DU PROBLÈME POSÉ PAR LES EXPLOSIONS DUES A L'EMPLOI DES GAZ ANESTHÉSQUES EN SALLE D'OPÉRATION

ETUDE ANALYTIQUE DES CAUSES D'EXPLOSION EN SALLE D'OPERATION

Pour qu'une explosion puisse se produire il faut et il suffit que soient simultanément en présence :

- De l'oxygène;
- Un gaz ou une vapeur inflammable;
- Une source d'allumage,

en un point quelconque de la salle d'opération et selon des proportions définies.

La recherche des causes d'explosion se ramène donc à l'étude des modalités d'existence de ces trois facteurs en salle d'opération et à leur comparaison aux caractéristiques des mélanges explosifs expérimentaux.

I. — ETUDE QUALITATIVE

L'oxygène

L'oxygène est toujours présent en tout point de la salle en tant que constituant de l'air ambiant.

D'autre part, une source d'oxygène pur existe habituellement en salle d'opération.

De son utilisation il résulte qu'en pratique le circuit anesthésique et même son voisinage, du fait des fuites volontaires ou involontaires, contiennent une atmosphère plus riche que l'air en oxygène ou même parfois constituée d'oxygène pur.

Enfin l'oxygène peut exister dans le milieu, masqué par sa combinaison chimique à un autre corps.

On le rencontre ainsi comme constituant du protoxyde d'azote, par ailleurs gaz lui-même ininflammable.

Or, le protoxyde d'azote fait partie du mélange gazeux circulant dans le circuit anesthésique à des proportions de 40 à 80 % dans un nombre très important d'anesthésies.

Ces 40 à 80 % de protoxyde enrichissent « potentiellement » le mélange gazeux d'environ 20 à 40 % d'oxygène supplémentaire, en volume.

Il est donc important de savoir si cet oxygène combiné est susceptible d'être libéré pour jouer son rôle habituel dans les phénomènes de combustion ou d'explosion. Or, non seulement la réponse est affirmative mais l'expérience montre même que la combustion paraît mieux entretenue en présence de protoxyde d'azote et d'oxygène qu'en présence d'oxygène pur ou d'air.

L'explication de ce dernier fait pourrait être que l'oxygène provenant de la décomposition du protoxyde d'azote par la chaleur de combustion est à l'état « naissant » (ionisé) ce qui exalte son pouvoir réactif (ce phénomène est connu pour d'autres réactions chimiques).

Au total : le protoxyde d'azote se comporte comme un gaz non explosif et non inflammable, mais puissamment comburant, sa présence dans le mélange y jouant un rôle voisin de celui d'un volume égal d'oxygène pur. Pour cette raison il peut favoriser grandement l'explosion du mélange qui le contient si les conditions sont adéquates.

Les gaz ou les vapeurs inflammables ou explosifs

Presque tous les anesthésiques inhalés sont inflammables s'ils sont placés dans des conditions appropriées (concentration, source d'allumage et présence d'oxygène suffisants).

Cependant, cinq corps seulement doivent être retenus à ce sujet

parce qu'en fait ils sont les seuls, parmi les anesthésiques utilisés en pratique, à être susceptibles de brûler ou d'exploser dans leurs conditions normales d'emploi.

Ce sont :

- L'éther éthylique.
- L'éther vinylique.
- Le cyclopropane.
- Le chlorure d'éthyle.
- L'éthylène.

Précisons qu'aucun de ces agents n'est susceptible de s'enflammer spontanément en l'absence de sources d'allumage, tout au moins dans les conditions normales d'emploi en anesthésie. Cependant le mélange cyclopropane-oxygène à haute pression peut être auto-détonnant. Tout montage permettant d'effectuer ce mélange en amont du mano-détendeur est donc à proscrire.

L'éther éthylique

Il fait encore partie d'un grand nombre d'anesthésies, particulièrement en chirurgie infantile et aussi lorsque l'absence de matériel ou de personnel spécialisé en font apprécier la simplicité d'emploi et l'innocuité relative.

En salle d'opération, l'éther existe dans l'atmosphère sous forme de vapeurs dont la concentration est évidemment maximum dans le circuit anesthésique mais qui peuvent se répandre plus ou moins à son voisinage et dans la pièce selon la technique utilisée.

Ces vapeurs possèdent deux particularités importantes.

— *Elles sont plus lourdes que l'air.*

En l'absence de ventilation elles ont donc tendance à s'accumuler primitivement dans les parties basses de la pièce.

— *Elles sont peu diffusibles.*

Ces deux caractères favorisent l'accumulation localisée de vapeurs d'éther à forte concentration dans les parties basses de la salle.

Malgré cela, du fait des lois de diffusion des gaz, au bout d'un certain temps la concentration tend toujours à s'uniformiser en tous les points de la pièce, les parties hautes n'en étant donc pas exemptes.

La réserve d'éther anesthésique (sous forme liquide) est habituellement placée dans un flacon de verre. Elle est reliée au circuit (en dehors du cas de l'anesthésie à la compresse) par un conduit muni d'un robinet d'admission.

Or, trois conséquences peuvent en découler :

— En cas d'inflammation des vapeurs d'éther au voisinage du flacon, s'il y a communication avec son contenu celui-ci peut exploser à son tour. De plus, ce phénomène ajoutera, aux dangers de la déflagration, ceux liés à la projection d'éclats de verre.

— Lorsque le robinet d'admission d'éther dans le circuit est insuffisamment étanche, ce qui est fréquent quand il est du type « à boisseau », très utilisé en pratique, il peut exister une fuite imprévue provoquant l'apparition de vapeurs d'éther dans le circuit alors même que le robinet d'admission est fermé. En effet, après la suppression, l'évaporation diminue, l'éther se réchauffe et par suite la tension de vapeur augmente finissant par forcer le robinet non étanche.

— La conservation de l'éther en flacon de verre exposé à l'air et à la lumière après un premier usage risque de provoquer la formation de peroxydes très dangereux parce qu'encore beaucoup plus explosifs que l'éther.

Ainsi, dans de rares cas, des explosions ont été attribuées à l'accumulation de peroxydes.

Le cyclopropane

Il est utilisé fréquemment dans de nombreuses salles d'opération souvent en circuit clos ou semi-clos.

Il est beaucoup plus léger et diffusible que l'éther, d'où sa dispersion rapide dans l'atmosphère tendant très vite à une concentration uniforme en tout point de la pièce, par suite le danger d'explosion (à l'inverse du cas de l'éther) sera avant tout à proximité de la source.

Le stockage habituel sous forme d'obus placés dans la salle même, peut aussi poser des problèmes : en cas d'incendie ces obus peuvent exploser.

L'éther divinylque

Fréquemment utilisé dans les anesthésies de courte durée, il présente des caractéristiques physiques voisines de celles de l'éther, d'où les mêmes conséquences pratiques.

Cependant, la faible durée de son emploi diminue évidemment les probabilités d'explosion et la dissémination importante dans l'atmosphère.

L'éthylène

Cet agent est moins souvent utilisé en anesthésie que les corps précédents.

Nolons cependant qu'il s'agit d'un gaz très léger : il a donc tendance à s'accumuler dans les parties hautes de la pièce à l'inverse de l'éther, par conséquent, dans ce cas, les sources d'allumage même haut situées peuvent être dangereuses.

Le chlorure d'éthyle

Son importance pratique vis-à-vis du risque d'explosion est certainement beaucoup moindre que celle des corps précédents.

D'une part, parce qu'il est relativement peu utilisé actuellement et en tout cas seulement pour des interventions de très courte durée risquant peu, en pratique, de réunir toutes les conditions de danger.

D'autre part, parce que même dans les conditions les plus adéquates il ne provoque pas d'explosions très violentes.

Cependant, il est au moins inflammable aux concentrations habituelles d'emploi.

Enfin un point reste à souligner au sujet de ces gaz : c'est que leur existence dans la salle ou dans le circuit est loin d'être strictement limitée à leur période d'utilisation :

— Dans une pièce petite et non ventilée, les gaz répandus dans l'atmosphère peuvent séjourner très longtemps, surtout s'il s'agit d'éther (peu diffusible). Ainsi une source d'allumage quelconque se manifestant au cours d'une anesthésie ultérieure n'utilisant pas de gaz explosif pourra provoquer une explosion inattendue.

Mais dans ce cas, il faut envisager aussi la possibilité d'une fuite provenant d'un bac à éther resté en place comme nous l'avons décrit plus haut.

- Le corps explosif est présent longtemps après l'arrêt de son administration dans le mélange gazeux expiré, comme le prouve l'examen des courbes d'élimination caractéristiques des anesthésiques utilisés.

D'autre part, comme le fait remarquer J. Bureau, le malade consomme au fur et à mesure une partie de l'oxygène qu'on admet à ce moment dans le circuit, ce qui ralentit la montée de sa tension partielle dans le mélange. Ainsi les deux courbes peuvent rester longtemps presque parallèles et au voisinage de la proportion explosive. Ce parallélisme allonge démesurément la période dangereuse précisément à un moment où l'anesthésiste, du fait des mouvements nécessités par ce changement, risque le plus de distribuer des charges électrostatiques pouvant allumer le mélange.

Ce dernier point peut donc également rendre compte du fait qu'une explosion puisse se produire après l'arrêt de l'administration du produit explosif. En particulier, c'est par ce phénomène qu'on peut expliquer l'explosion relatée par J. Bataille en mars 1956; cette explosion fut déclenchée par une étincelle d'électricité statique cinq minutes après l'arrêt de l'administration du cyclopropane, aucun agent explosif n'étant plus alors utilisé.

En pratique, il est donc important de se souvenir que 90 % du cyclopropane introduit dans l'organisme est éliminé dans les dix minutes qui suivent l'arrêt de l'administration (ce temps étant relativement court, les concentrations expiratoires seront élevées, d'où risque important) et que l'éther est encore présent dans les voies respiratoires du sujet plusieurs heures après l'intervention, surtout si celle-ci a été longue (mais le temps d'élimination étant ici relativement long, la concentration sera plus faible et le danger moins grand qu'avec le cyclopropane).

Au total, retenons qu'à la fin de l'anesthésie, alors même que l'administration du produit dangereux a cessé, et particulièrement dans les minutes qui suivent la suppression du masque ou de la sonde endotrachéale, le risque d'explosion présente paradoxalement un maximum surtout avec le cyclopropane et que ce danger peut se prolonger pendant un temps assez long, en parti-

culier pour l'éther, ceci provenant du fait que l'expiration à l'air libre constitue une source permanente de gaz inflammable se répandant directement dans l'atmosphère.

Les sources d'allumage

Il convient tout d'abord de préciser la définition de ce terme :

Nous considérons que la source d'allumage est le phénomène physique libérant l'énergie capable de servir de point de départ aux processus d'oxydation en chaîne qui constituent la combustion du mélange; combustion qui peut être explosive si les caractéristiques de ce dernier sont appropriées.

Pour être efficace, la source d'allumage doit au minimum libérer en un point l'énergie limite nécessaire à la première oxydation.

Une ionisation, une élévation de température suffisante en un endroit quelconque du mélange, quelle que soit la cause qui lui ait donné naissance, peuvent donc être suivies de la mise à feu de celui-ci.

Or, cette élévation de température peut être très localisée, par conséquent, en pratique, une quantité de chaleur extrêmement faible, mais libérée très rapidement dans une zone très réduite, peut être beaucoup plus dangereuse qu'une grande quantité de chaleur libérée lentement et se propageant à partir d'une surface importante.

Les étincelles ou l'arc électrique susceptibles de se développer dans l'espace séparant deux corps voisins portés à des potentiels différents peuvent constituer des sources d'allumage.

Les sources d'allumage ainsi définies se rencontrent en salle d'opération sous de multiples formes. Pour la commodité de leur dépistage on peut les classer schématiquement en trois groupes :

— Les flammes et les surfaces incandescentes.

— Les sources d'allumage dues à l'équipement électrique de la salle d'opération :

— par étincelles,

— par échauffement de conducteurs.

— Les sources d'allumage dues à la production de charges d'électricité statique.

1° Les flammes et les surfaces incandescentes

Si l'on n'y prend garde, elles peuvent se multiplier dans une salle d'opération. Or, elles constituent toutes des sources d'allumage idéales.

Celles qu'on risque habituellement de rencontrer sont :

— Pour les flammes :

Les allumettes, les briquets...

Les becs Bunsen ou les réchauds servant à stériliser des sondes ou des instruments chirurgicaux par ébullition.

Les plateaux que l'on stérilise par flambage à l'alcool...

— Pour les surfaces incandescentes :

Les cigarettes fumées par des visiteurs ou un personnel non averti...

Tous les appareils de chauffage utilisant le gaz de ville, l'électricité ou un combustible quelconque et qui sont susceptibles d'introduire dans la salle d'opération des surfaces incandescentes ou même seulement portées à une température de 200 à 300° et non isolés par une enceinte étanche et calorifuge. Ces appareils donnent des sources d'allumage habituellement situées près du sol donc particulièrement dangereuses avec l'éther.

2° Les sources d'allumage dues à l'équipement électrique de la salle d'opération

Toujours en vue du dépistage on peut les classer en deux catégories :

— Les sources résultant d'un fonctionnement normal des appareils.

— Les sources résultant d'un fonctionnement anormal des appareils.

a) Les sources résultant d'un fonctionnement normal des appareils : par utilisation directe de l'arc électrique ou de l'effet Joule dans les instruments chirurgicaux :

Dans les conditions d'utilisation des appareils, elles sont situées au niveau de la plaie opératoire, d'où risque d'explosion si celle-ci

est située dans une zone dont on ne peut être sûr qu'elle n'est pas au contact d'un mélange gazeux explosif.

Mais leur danger ne s'arrête pas toujours là. En effet :

— Par suite d'un dysfonctionnement du système d'interruption ou d'une erreur de manipulation, ces instruments peuvent chauffer ou émettre des étincelles à l'endroit même où on les a posés après les avoir utilisés. (Il peut arriver qu'ils commencent à mettre le feu aux champs, par exemple, nous avons été témoin d'un tel fait).

— D'autre part, en ce qui concerne les instruments utilisant l'arc électrique, ils peuvent de plus provoquer une étincelle à distance de l'endroit où on les utilise, par mauvais contact ou par production de courants induits. L'éloignement de leur lieu d'emploi par rapport aux sources de gaz explosif et aux voies respiratoires du sujet n'est donc pas une précaution suffisante en elle-même.

En pratique les instruments ainsi envisagés se rangent en deux catégories vis-à-vis du risque d'explosion : (effet Joule ou Haute Fréquence).

— Les thermocautères à incandescence (dont l'emploi est relativement restreint).

— Les thermocautères à Haute Fréquence, les appareils à électro-coagulation, le « bistouri électrique ».

b) Les sources créées involontairement par production d'étincelles ou échauffement anormal des conducteurs dans les circuits.

Pour les dépister systématiquement il faut étudier en détail la totalité des circuits électriques de la salle d'opération. Or ceux-ci peuvent être très complexes, mais en dehors des appareils envisagés plus haut, ils se ramènent toujours aux éléments suivants :

— Les conducteurs eux-mêmes.

Pour devenir source d'allumage il faut qu'en un de leur point :

1) Ils soient portés à une température suffisante : les conducteurs étant normalement appropriés aux courants qui peuvent les traverser, ceci ne peut se produire pratiquement que si leur résistance s'accroît considérablement du fait de leur altération ; la température du conducteur augmente alors en fonction du dégagement de chaleur qui est donné par la formule : $Q = R I^2 t$

tout s'ils sont branchés sur le secteur (par l'intermédiaire d'un rhéostat). Leur survoltage est alors bien facile à obtenir et l'on est tenté de le provoquer pour parer aux difficultés de l'examen en augmentant la puissance de l'éclairage.

En pratique on considère que si une telle lampe produit une sensation de brûlure au doigt qui la touche, sa température risque d'être suffisante pour provoquer la mise à feu d'un mélange gazeux explosif.

Les variateurs de vitesse, les rhéostats peuvent aussi présenter un risque.

— Enfin les appareils à rayons X.

Ils constituent un cas un peu particulier.

Etudiés sous l'angle des sources d'allumage possibles, ils peuvent se décomposer en trois éléments :

— un circuit électrique du type ordinaire dont les dangers se ramènent à ceux étudiés plus haut à ce sujet;

— un circuit électrique spécial;

— une ampoule à rayons X.

3° Les sources d'allumage dues à l'électricité statique

Elles sont multiples, complexes, très difficiles à dépister et à analyser, la production de charges d'électricité statique étant extrêmement fréquente, incontrôlable et variable en intensité. Chaque mouvement, chaque manipulation d'objets mauvais conducteurs peut en produire.

Pour bien se persuader de l'existence réelle de ce danger invisible, retenons le fait suivant : il arrive, par temps sec, d'entendre de fins craquements en se peignant ou en se brossant les cheveux. Or, il y a habituellement une quantité d'énergie électrique plus que suffisante dans un peigne chargé pour mettre le feu à un mélange inflammable d'anesthésique et d'oxygène.

La mise à feu d'un mélange explosif par l'électricité statique est possible lorsque deux conditions se trouvent successivement remplies :

a) Il faut que des charges suffisantes se soient accumulées dans un ou plusieurs des objets de la salle d'opération.

En l'occurrence est « suffisante » une charge électrique capable :

— De porter le ou les objets en question à un potentiel assez élevé pour provoquer une disruption dans l'atmosphère de la salle.

— D'offrir l'énergie limite nécessaire à la première oxydation.

Cette première condition est fonction :

— De l'énergie transmise aux objets envisagés par les frottements superficiels. (Tout frottement engendre des charges, mais avec un rendement relativement faible).

— De leur capacité électrique.

— De leur isolement électrique, c'est-à-dire de la résistance des corps qui les relient à la terre et qui constituent le chemin d'écoulement des charges ou « résistance de fuite ».

Le risque n'est pas limité aux objets initialement chargés, car toute charge est entourée par un champ électrique étendu qui peut produire des effets à une certaine distance par le phénomène d'induction : un objet métallique isolé dont une extrémité est approchée d'une telle charge voit un grand nombre de ses électrons repoussés à l'extrémité opposée, constituant une nouvelle charge qu'une étincelle pourra neutraliser au niveau de n'importe quel conducteur assez rapproché.

Au total, quelle que soit la complexité du système électrique constitué par le contenu de la salle d'opération, on peut toujours le résumer, vu d'un point, par :

— une certaine valeur de charge;

— une certaine valeur de capacité;

— une certaine valeur de fuite.

Par exemple, si on considère le coin d'un chariot de malade :

— La charge : c'est le frottement des vêtements d'un aide qui heurte le chariot en ce point;

— La capacité : c'est celle du chariot par rapport au sol;

— La résistance de fuite : c'est le défaut d'isolement des roulettes du chariot et du sol de la salle par rapport à la terre.

b) Il faut que le ou les objets porteurs de ces charges soient

tout s'ils sont branchés sur le secteur (par l'intermédiaire d'un rhéostat). Leur survoltage est alors bien facile à obtenir et l'on est tenté de le provoquer pour parer aux difficultés de l'examen en augmentant la puissance de l'éclairage.

En pratique on considère que si une telle lampe produit une sensation de brûlure au doigt qui la touche, sa température risque d'être suffisante pour provoquer la mise à feu d'un mélange gazeux explosif.

Les variateurs de vitesse, les rhéostats peuvent aussi présenter un risque.

— Enfin les appareils à rayons X.

Ils constituent un cas un peu particulier.

Etudiés sous l'angle des sources d'allumage possibles, ils peuvent se décomposer en trois éléments :

— un circuit électrique du type ordinaire dont les dangers se ramènent à ceux étudiés plus haut à ce sujet;

— un circuit électrique spécial;

— une ampoule à rayons X.

3° Les sources d'allumage dues à l'électricité statique

Elles sont multiples, complexes, très difficiles à dépister et à analyser, la production de charges d'électricité statique étant extrêmement fréquente, incontrôlable et variable en intensité. Chaque mouvement, chaque manipulation d'objets mauvais conducteurs peut en produire.

Pour bien se persuader de l'existence réelle de ce danger invisible, retenons le fait suivant : il arrive, par temps sec, d'entendre de fins craquements en se peignant ou en se brossant les cheveux. Or, il y a habituellement une quantité d'énergie électrique plus que suffisante dans un peigne chargé pour mettre le feu à un mélange inflammable d'anesthésique et d'oxygène.

La mise à feu d'un mélange explosif par l'électricité statique est possible lorsque deux conditions se trouvent successivement remplies :

a) Il faut que des charges suffisantes se soient accumulées dans un ou plusieurs des objets de la salle d'opération.

En l'occurrence est « suffisante » une charge électrique capable :

— De porter le ou les objets en question à un potentiel assez élevé pour provoquer une disruption dans l'atmosphère de la salle.

— D'offrir l'énergie limite nécessaire à la première oxydation.

Cette première condition est fonction :

— De l'énergie transmise aux objets envisagés par les frottements superficiels. (Tout frottement engendre des charges, mais avec un rendement relativement faible).

— De leur capacité électrique.

— De leur isolement électrique, c'est-à-dire de la résistance des corps qui les relient à la terre et qui constituent le chemin d'écoulement des charges ou « résistance de fuite ».

Le risque n'est pas limité aux objets initialement chargés, car toute charge est entourée par un champ électrique étendu qui peut produire des effets à une certaine distance par le phénomène d'induction : un objet métallique isolé dont une extrémité est approchée d'une telle charge voit un grand nombre de ses électrons repoussés à l'extrémité opposée, constituant une nouvelle charge qu'une étincelle pourra neutraliser au niveau de n'importe quel conducteur assez rapproché.

Au total, quelle que soit la complexité du système électrique constitué par le contenu de la salle d'opération, on peut toujours le résumer, vu d'un point, par :

— une certaine valeur de charge;

— une certaine valeur de capacité;

— une certaine valeur de fuite.

Par exemple, si on considère le coin d'un chariot de malade :

— La charge : c'est le frottement des vêtements d'un aide qui heurte le chariot en ce point;

— La capacité : c'est celle du chariot par rapport au sol;

— La résistance de fuite : c'est le défaut d'isolement des roulettes du chariot et du sol de la salle par rapport à la terre.

b) Il faut que le ou les objets porteurs de ces charges soient

approchés d'un corps de potentiel différent, de telle sorte que la disruption puisse se produire.

L'étincelle est un phénomène d'ionisation du gaz, l'ionisation se produit si le potentiel s'élève pour chaque molécule de gaz au-dessus d'une valeur connue. Le nombre de molécules par unité de volume, donc linéairement par unité de longueur, étant statistiquement constant, c'est donc un nombre de volts par millimètre qu'il ne faut pas dépasser.

Il nous faut donc étudier sous cet angle :

— Les caractéristiques électriques propres aux accessoires usuels de la salle d'opération;

— Leur maniement habituel,
pour savoir dans quels cas ils peuvent remplir les conditions de danger établies ci-dessus.

— Les caractéristiques électriques propres aux accessoires de la salle d'opération.

— Au point de vue de la capacité électrique.

La charge des capacités dans lesquelles s'accumule l'électricité créée par les frottements superficiels s'effectue suivant la formule :

$$Q = C V$$

dans laquelle Q est la charge, C la capacité et V le potentiel.

Or, les capacités mesurées en salle d'opération sont très faibles de l'ordre de 100 à 1.000 picofarads (10^{-9} farad).

De ce fait, il résulte que pour une énergie de charge relativement faible, les potentiels obtenus seront très élevés suivant la relation $Q = C V$, ce qui, nous l'avons énoncé plus haut, favorise le risque de disruption.

Enfin, plus C sera petit, c'est-à-dire plus l'objet lui-même sera petit, plus V sera grand. En d'autres termes, une charge électrique est plus dangereuse quand elle est emmagasinée par un petit objet que quand elle est emmagasinée par un grand.

On peut ainsi, en salle d'opération, voir se produire, par frottements, des différences de potentiels de plus de 10.000 v., alors que le seuil de danger est atteint pour environ 1.100 v.

— Au point de vue de l'isolement.

Les charges accumulées dans une capacité s'écoulent à travers sa résistance de fuite en donnant un courant défini par l'équation :

$$Q = I t$$

Q représente la charge, I l'intensité du courant produit et t le temps de son passage.

Or, le temps nécessaire pour que le potentiel tombe au tiers de sa valeur est égal au produit de la résistance de fuite R par la capacité C :

$$t = R \times C$$

C'est la constante de temps de décharge du système.

Donc, plus la résistance de fuite est élevée, plus l'objet est long à décharger.

Si le temps de décharge est supérieur au temps qui sépare deux charges successives on aura une certaine sommation des effets et si le phénomène se répète, la charge et par conséquent le potentiel absolu, le risque de disruption et le danger d'explosion pourront augmenter indéfiniment.

Dans le cas concret de la salle d'opération, les charges sont produites par les mouvements humains dont la constante de temps est de l'ordre de :

$$1/10^{\circ} \text{ de seconde}$$

La production de potentiel dangereux ne peut donc être obtenue que si les constantes de temps de décharge « t » sont courtes par rapport à $1/10^{\circ}$ de seconde.

Puisque $t = R \times C$ et que C est voisin de 1.000 picofarads, les potentiels dangereux ne pourront être atteints que si R est petit par rapport à :

$$100 \text{ mégohms } (10^8 \text{ ohms})$$

Cette valeur constitue indiscutablement la limite du danger.

En d'autres termes, tout point du contenu de la salle d'opération qui voit la terre sous une résistance supérieure à 100 mégohms constitue un danger certain et réciproquement le danger est pratiquement annulé si cette résistance est petite par rapport à 100 mégohms.

En pratique, en l'absence de dispositifs spéciaux de protection, les degrés d'isolement électrique des diverses parties du matériel de la salle d'opération par rapport à la terre sont considérables

et en tout cas bien supérieurs à la limite de danger que nous venons de définir et de calculer.

La plupart des accessoires proprement dits sont faits de caoutchouc et de matière plastique : matériaux de haute résistance électrique, donc propres à développer et à conserver les charges d'électricité statique; retenons surtout dans cette catégorie :

— Le matériel d'anesthésie en caoutchouc non traité : ballons, tuyauterie, sondes, masques...

Dans « Récent advances in anesthesia » (8^e éd.), Langton C. Hewer remarque que :

Le caoutchouc ordinaire présente deux dangers : « il peut produire en lui-même des charges électro-statiques de potentiel élevé lorsqu'il est en contact avec des gaz en mouvement et, comme il est isolant, il ne peut assurer l'écoulement de ces charges ».

— Les garnitures de table d'opération : matelas en caoutchouc mousse ou recouvert d'une enveloppe de matière plastique, feuilles de tissus caoutchouté de nylon... tous objets d'emploi extrêmement répandu. D'autre part, la laine des couvertures est, elle aussi, insuffisamment conductrice.

Les vêtements des opérateurs sont aussi à considérer : or, la laine, la soie, la rayonne et surtout les multiples dérivés du nylon ou de l'orlon qui entrent si souvent dans leur fabrication, depuis les blouses jusqu'aux sous-vêtements, ont une résistance électrique considérable. Par contre, le coton est relativement sûr du point de vue électrique parce que, aux humidités relatives atteignant 40 % ou plus (ce qui est habituel) il a peu de tendance à acquérir une charge. Néanmoins, pour une faible humidité relative, il peut prendre lui-même des charges importantes.

Tous les caoutchoucs et dérivés utilisés pour la fabrication des semelles de chaussures ont une résistance supérieure à la limite de sécurité. Par contre, d'après Greene, les semelles de cuir acquièrent très rapidement, par la transpiration, une humidité suffisante pour être conductrices.

Comme le personnel, le matériel bon conducteur est le plus souvent isolé du sol par des résistances très supérieures à la limite de danger.

La table d'opération, les chariots, la table d'anesthésie, éven-

luellement le respirateur, l'appareil à rayons X... sont isolés du sol par des patins ou des roulettes de caoutchouc ordinaire (et même parfois une couche de poussière ou de la cire).

Bien plus, le sol lui-même est habituellement non conducteur, empêchant tout nivellement des potentiels contenus dans la salle.

Les matériaux utilisés jusqu'ici pour sa fabrication avaient une haute résistance électrique : c'étaient les carreaux de céramique, la terre azolite, le béton, le marbre, le linoléum, le caoutchouc non spécialement traité.

A titre d'exemple, nous donnons dans le tableau de la page 26 les résultats des mesures effectuées par J. Bureau dans vingt-cinq salles d'opération.

Les mesures de résistances indiquées ont été faites entre une terre vraie et une petite tache de sérum physiologique de un centimètre de côté répandu sur le sol sec et à l'aide d'un ohmmètre à 20.000 ohms par volts et d'une pile de 20 volts.

Remarquons enfin que le contact entre le sol de la salle d'opération et la terre est très incertain, variable et incontrôlable au point de vue résistance puisqu'il s'établit par l'intermédiaire des conduites de fluides et du gros œuvre.

— Le maniement habituel du matériel de la salle, les gestes des opérateurs.

Il existe beaucoup de gestes qui créent des frictions superficielles et leur constante de temps, comme nous l'avons vu, permet ainsi la création et l'accumulation de charges statiques dangereuses. Pour appuyer cette affirmation nous ne pouvons que donner quelques exemples particulièrement courants de mouvements simples et naturels et pourtant dangereux :

— Frottement avec le dos de la main de la toile caoutchoutée située sur la table d'opération pour en effacer les plis (charge statique de la toile caoutchoutée, charge induite de la table conductrice).

— Frottements des tissus, des vêtements dans tous les gestes habituels.

— Charge des chaussures à semelle de caoutchouc du fait de la marche sur un sol non conducteur.

— Tissus non conducteurs que l'on secoue pour les déplier..., etc...

Résultats des mesures de la résistance du sol dans 25 salles d'opération

Type de construction	Nombre de salles	Observations	Résistance du sol
Salles anciennes — larges carreaux de grès cérame — pas de treillis sous carrelage.	15	Salles dangereuses — des accidents ont eu lieu dans trois d'entre elles.	$R > 10.000$ mégohms au centimètre carré — 2.000 sur les joints de ciment.
Salles datant d'après-guerre — carrelage plus petit — grès cérame plus conducteurs — lames de cuivre sous carrelage parfois.	5	Salles douteuses — pas d'accidents signalés (?)	R de l'ordre de 200 mégohms au centimètre carré.
Salles récentes — études spéciales faites par ingénieur — carrelage de grès chargé d'oxydes métalliques — treillis sous carrelage soudé.	5	Aucun risque à condition bien entendu que par ailleurs les accessoires de la salle soient correctement reliés au sol.	R de l'ordre de 1 mégohm ou moins au centimètre carré.

— Frottements engendrés par la pression rythmique du ballon d'anesthésie : les manipulations d'un ballon non conducteur exercées en vue d'assurer une respiration assistée peuvent parfaitement faire apparaître des différences de potentiel de plusieurs milliers de volts.

D'autre part, tous les gestes qui aboutissent à rapprocher, même pendant un temps très court, deux objets ainsi portés à des potentiels différents, sont capables de produire la disruption. Là encore nous ne pouvons passer en revue tous les gestes dangereux : nous ne donnerons qu'un exemple pour fixer les idées : dans l'accident signalé par J. Bataille, en 1956, c'est le branchement du ballon sur le canister en matière plastique qui, en rapprochant deux objets antérieurement chargés d'électricité statique, provoqua l'étincelle responsable de l'explosion.

Enfin, un point reste à préciser, c'est *l'influence de l'état hygrométrique de l'atmosphère de la salle sur les phénomènes électro-statiques*.

Son importance pratique est assez considérable : le danger d'étincelage augmente très rapidement quand la saturation en eau de l'atmosphère diminue : ceci peut expliquer les variations de fréquence des accidents dus à l'électricité statique en fonction du climat ou de la saison (ainsi s'expliquerait leur particulière fréquence dans certaines régions des Etats-Unis).

Lorsqu'on a pu mesurer le degré d'humidité relative au moment où se sont produits des accidents d'explosion dus à l'électricité statique, on a trouvé, dans la plupart des cas, des atmosphères sèches (saturation aux environs de 50 %) ou même très sèches (saturation au-dessous de 30 %).

Au total :

Il n'y a pas d'endroit plus approprié pour le développement occasionnel et la persistance de charges importantes d'électricité statique que la salle d'opération quand elle n'est pas spécialement protégée.

Or, ces charges sont parfaitement aptes à provoquer, par disruption, la mise à feu des divers mélanges anesthésiques explosifs.

4° Les sources d'allumage dues aux manipulations de l'oxygène à haute pression

Le choc soudain d'un jet d'oxygène à pression élevée tombant sur une matière même faiblement inflammable, est capable d'en provoquer la combustion.

En conséquence, une source d'allumage risque d'être créée :

— Par l'ouverture trop brusque et complète de la vanne d'admission d'oxygène à haute pression des obus utilisés en salle d'opération;

— Par la présence sur tout ce qui peut être touché par un jet d'oxygène sous pression de corps inflammables, en pratique : les graisses de lubrification, les joints de cuir, les robinets en matériaux combustibles...

II. — ETUDE QUANTITATIVE

Nous avons examiné les possibilités de rencontre en salle d'opération des trois facteurs nécessaires au déclenchement d'une explosion; il reste maintenant à étudier les variations du danger en fonction des quantités respectives de ces trois facteurs en présence.

Les quantités et les proportions du mélange oxygène-gaz explosif

Une explosion est caractérisée par la propagation de proche en proche d'une onde de surpression brève et localisée à partir du point où s'est amorcée la réaction.

Le phénomène peut revêtir deux aspects :

— La déflagration :

Dans celle-ci l'onde de surpression est relativement « étalée » et se propage à une vitesse de l'ordre du mètre par seconde.

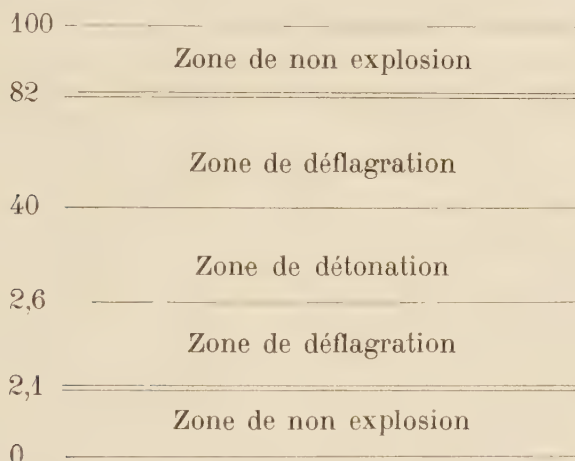
— La détonation :

Dans celle-ci l'onde de surpression est beaucoup plus brève et intense, constituant une véritable « onde de choc » dont la vitesse de propagation est de l'ordre du kilomètre par seconde et les effets de souffle beaucoup plus destructeurs.

Or, en faisant varier progressivement la quantité d'un des constituants du mélange par rapport à l'autre, c'est-à-dire en faisant varier les concentrations en volume, on peut faire apparaître des limites supérieures et inférieures de détonation et de déflagration, les limites de détonation étant toujours comprises à l'intérieur des limites de déflagration.

Exemple : mélange simple éther-oxygène :

Quantité d'éther en %
par rapport à l'oxygène



Deux faits peuvent cependant venir modifier ces limites :

— La présence dans le mélange d'un troisième gaz ne participant pas à la réaction (azote, hélium, anhydride carbonique).

Dans ce cas les limites supérieures et inférieures se rapprochent l'une de l'autre : la zone dangereuse diminue.

— La proximité et la nature des parois lorsque l'explosion se produit dans une enceinte close relativement réduite.

Ainsi les limites précédentes se resserrent dans un tube à mesure que son diamètre décroît, la propagation du phénomène cessant complètement au-dessous d'un certain diamètre variable avec la nature des parois.

D'après L. Amy, ces résultats peuvent être exprimés numériquement par les tableaux suivants :

— Tableau I :

Limites de déflagration, de détonation et concentration stoechiométriques des anesthésiques explosifs, dans un espace tel que le rôle des parois puisse être négligé (cas de la salle d'opération).

Gaz combustible	Ethylène	Cyclo- propane	Ether	Vin-éther	Chlorure d'éthyle
Concentration stoechiométrique en vol. % avec :	o ₂	18,2	14,3	16,7	25
	air	4,5	3,4	4	6,5
	proto	10	8	9	14
Limite de déflagration : en vol. % avec :	{ inf. sup.	2,4	2,1	1,8	4
		63	82	85	67
	{ inf. sup.	2,45	1,85	1,70	4
		10,4	36,5	27	14,8
	{ inf. sup.	1,6	1,5	1,4	2,1
		30	24	25	33
Limite de détonation : en vol. % avec :	o ₂	9	2,6		néant
	sup.	50	40		néant
	{ inf. sup.		2,8 4,5		néant

— Tableau II :

Variations de la limite inférieure de déflagration en fonction du diamètre d'un tube dans lequel se produirait l'explosion.

Diamètre du tube en millimètres ..	75	25	1	Pas de déflagration au-dessous de 1 millimètre
Limite inférieure de déflagration	4,1 %	4,2 %	33 %	

Au point de vue quantité absolue : quelles que soient les concentrations, qu'il y ait détonation ou seulement déflagration, la réaction est toujours pratiquement intégrale, c'est-à-dire qu'elle consomme en totalité le réactif minoritaire.

De ces données générales et de ces chiffres on peut tirer plusieurs conclusions :

— En ce qui concerne le chlorure d'éthyle, par exemple, la zone de détonation est nulle : on ne peut donc avoir au plus qu'une déflagration.

— Les zones dangereuses sont considérablement plus étendues en présence d'oxygène pur qu'en présence d'air par suite du décalage des limites supérieures.

De même (sauf peut-être pour l'éther et le vinéther) la zone dangereuse est nettement plus étendue avec le protoxyde d'azote qu'avec l'air. Ces faits correspondent à ce que nous avons dit plus haut de l'adjonction d'un gaz inerte au mélange combustible-comburant (ici il s'agit de l'azote).

— Tels qu'ils sont normalement employés, les mélanges sont pratiquement toujours situés entre les limites de déflagration (tout au moins tant qu'ils sont à l'intérieur du circuit). C'est là le point le plus important.

De plus, ils peuvent même être à l'intérieur des limites de détonation, au moins en ce qui concerne ceux à base d'éther.

Lorsqu'il existe une fuite dans le circuit (volontaire ou non) le mélange en diffusant peut atteindre une source d'allumage extérieure et produire une flamme qui, si l'on

est encore dans les limites de déflagration, se propagera jusqu'au circuit responsable et pourra ainsi provoquer l'explosion de son contenu.

Cependant, plus la source d'allumage sera éloignée de la fuite, plus les probabilités d'explosion seront faibles du fait de la dilution dans l'air qui fera tomber la concentration au-dessous des limites de déflagration, ne permettant plus à la flamme de se propager ou même de se produire.

Mais en plus de la distance il faut considérer aussi les caractéristiques de diffusion et de densité de ces gaz telles que nous les avons indiquées plus haut.

Au moment de l'ablation du masque ou de la sonde, en fin d'anesthésie, on est ramené à ce même mécanisme : les voies respiratoires du sujet remplacent le « circuit » et le mélange rejeté par le malade à l'expiration constitue la fuite.

— Dans un tube étroit (circuit anesthésique, voies respiratoires du patient) les zones dangereuses sont plus restreintes, la propagation de l'explosion est d'autant plus gênée que le diamètre est plus faible.

L'intensité de la source d'allumage

Les possibilités d'allumage sont fonction de la température atteinte. La température minima d'inflammation varie avec les gaz combustibles et comburants, leurs proportions, la présence de gaz ne participant pas à la réaction... Elle est en rapport avec une énergie minima requise pour amorcer la réaction (plus cette énergie est libérée rapidement et dans un moindre espace, moins il en faudra).

D'après L. Amy :

Variation de l'énergie minimale nécessaire pour provoquer l'inflammation du mélange en fonction de ses proportions : exemple mélange méthane-oxygène.

Concentration en méthane	10	15	25	40	50	55
Energie d'inflammation en microjoules	10	3	1	5	110	430

Caractéristiques de mise à feu de quelques mélanges gazeux explosifs en proportions stoechiométriques.

Gaz combustible	Ethylène	Cyclo- propane	Ether diéthyl- lique	Ether diviny- lique	Chlorure d'éthyle
Température minimale d'inflammation dans l'air en degrés centi- grades	490	498	193	360	517 dans o ₂
Energie minimale d'in- flammation en mi- crojoule :					
Dans o ₂	9	1	1		
Dans l'air	85	180	200		

De l'examen de ces quelques chiffres, nous pouvons conclure :

— Que pour l'éther et le vinéther les températures minima (c'est-à-dire l'intensité des sources d'allumage) sont moindres que pour le cyclopropane.

— Que dans des conditions de production appropriées, les quantités d'énergie minima requises pour déclencher l'explosion sont extraordinairement petites : 200 micro-joules est la quantité d'énergie libérée par la combustion de 1/170.000 mg. d'éther.

Ceci rend compte du fait que l'énergie libérée par de minimes étincelles électrostatiques est suffisante pour provoquer la mise à feu de mélanges explosifs aussi bien à base d'éther que de cyclopropane.

— Que des objets portés à des températures de l'ordre de 200 degrés sont suffisants pour constituer des sources d'allumage (ceci peut se voir par exemple avec certains appareils de chauffage).



Les diverses causes d'explosion que nous venons de décrire ont ainsi été analysées surtout par l'étude critique de la salle d'opération et de son matériel.

Lorsqu'un accident se produit, il est souvent possible de mettre en évidence, parmi les sources d'allumage que nous avons envi-

sagées, celle qui lui a donné naissance, confirmant ainsi le danger réel qu'elle représente en pratique.

Cependant, lorsqu'il s'agit d'une cause liée à l'électricité statique, il est parfois plus difficile de prouver son origine et de retrouver le mécanisme exact qui lui a donné naissance : c'est pourquoi il pourrait paraître nécessaire à certains d'apporter encore une confirmation expérimentale à l'existence réelle de ce danger méconnu parce qu'invisible et entraînant assez rarement des catastrophes.

Or, cette confirmation a été largement obtenue grâce à divers dispositifs d'expérimentation. Nous décrirons très rapidement celui qui a été conçu par Magee et Bracken, en Angleterre.

Il s'agit d'un appareil très simple, constitué essentiellement de deux électrodes convenablement écartées et placées à l'intérieur d'une pochette de cellophane collée le long de sa circonférence à un socle circulaire de 6 cm de diamètre environ. Un fin tuyau permet de faire pénétrer un milieu gazeux à l'intérieur de cette enceinte étanche. Les deux électrodes sont reliées par des fils conducteurs à des objets usuels de la salle d'opération. La résistance de la poche de cellophane est telle que sa rupture se produise pour une pression de 10 kg/centimètre carré environ.

Pour utiliser l'appareil, il suffit de comprimer l'enveloppe de cellophane pour en chasser l'air, puis de la remplir d'un mélange explosif utilisé en anesthésie. On constate alors que les manipulations habituelles des objets reliés aux électrodes entraînent souvent l'explosion du mélange et la rupture de la poche de cellophane.

Aux Etats-Unis, l'étude expérimentale des dangers de l'électricité statique a été poussée encore beaucoup plus avant, tout particulièrement par G.-J. Thomas qui a longuement étudié ce problème et a mesuré minutieusement les charges et les potentiels développés par les gestes habituels en salle d'opération. Nous ne décrirons pas ces expériences : il nous suffit de savoir qu'elles confirment pleinement l'existence des dangers que nous avons signalés.

Nous tenons cependant à citer encore l'étude entreprise, toujours aux Etats-Unis, par les Hôpitaux de Pittsburgh ; étude à la suite de laquelle des conférences avec démonstrations à l'appui

ont été tenues par des ingénieurs des Mines spécialisés dans les problèmes de combustion des gaz, sous l'égide du département d'anesthésiologie de l'Université de Pittsburgh.

ETUDE DES MOYENS DE PREVENTION DES EXPLOSIONS EN SALLE D'OPERATION

La prévention découle directement de l'analyse des causes telles que nous venons de les envisager.

Pour qu'une explosion se produise il faut, nous l'avons vu, que soient en présence, à la fois de l'oxygène, un gaz combustible et une source d'allumage selon des proportions définies.

Si l'un au moins de ces facteurs est supprimé, neutralisé ou éloigné d'une manière certaine des deux autres, l'explosion ne pourra pas se produire.

La recherche des moyens de prévention des explosions se ramène donc à l'étude des procédés permettant d'éliminer, de neutraliser ou d'écarter systématiquement chacun de ces trois facteurs en salle d'opération.

L'oxygène

L'oxygène fait partie de l'atmosphère de la salle, sa présence en quantités relativement importantes est nécessaire à la vie.

Il est donc impossible d'envisager son élimination totale de la salle ou des circuits anesthésiques; tout au plus peut-on réduire son taux au minimum à 21 % en utilisant de l'air à la place d'oxygène pur pour l'anesthésie, ce qui est souvent compatible avec une oxygénation encore suffisante, étant donné la puissance des anesthésiques explosifs envisagés.

Par ce procédé on peut, nous l'avons vu, réduire dans des proportions notables l'étendue des zones de concentration dangereuse; ceci n'est guère intéressant pour l'emploi de l'éther, du vinéther ou du chlorure d'éthyle, puisque pour ces gaz la réduction de la zone dangereuse joue sur des concentrations non utilisées en clinique. Par contre, le procédé présenterait quelque intérêt en ce qui concerne l'usage du cyclopropane : en effet, pour ce gaz, la limite de déflagration est obtenue avec l'oxygène pur pour une concentration de 63 %, mais avec l'air, pour

une concentration de 10,45 % seulement. Or, l'emploi clinique du cyclopropane est théoriquement possible avec un mélange cyclopropane-air qui serait toujours à une concentration supérieure à 15-20 % (cependant les possibilités d'oxygénation seraient un peu précaires).

On a donc cherché à exploiter le principe de l'association à l'oxygène d'un gaz inerte, en vue de faire descendre la limite de concentration dangereuse du cyclopropane au-dessous de la limite des concentrations utilisables en clinique, tout en conservant un taux d'oxygène suffisant. (Le résultat est obtenu non pas tant par la diminution de la pression partielle d'oxygène que par la diminution de la chaleur spécifique et de la conductibilité du mélange.)

C'est ainsi que, dès 1941, Jones et Thomas utilisèrent le cyclopropane en présence d'un mélange d'oxygène et d'hélium réalisant une combinaison non explosive.

Puis, en 1954, Hingson essaya l'association cyclopropane-azote. Par la suite, reprenant les travaux de Jones et Thomas, il mit au point un inhalateur portatif utilisant deux mélanges gazeux contenus dans des petits obus « spatklets », l'un d'oxygène et d'hélium, l'autre de cyclopropane et d'hélium.

W. W. Mushin et P. W. Thompson ont employé cet appareil avec des résultats satisfaisants.

Nous n'insisterons pas sur les détails techniques de construction et d'utilisation. Précisons seulement que lors de son emploi l'appareil donne issue à 5.500 l. de mélange gazeux inexplosif, contenant au total 40 % de cyclopropane, 30 % d'oxygène et 30 % d'hélium.

Quel est l'intérêt de ces appareils dans la prévention des explosions ?

— Il est restreint, puisque n'intéressant que l'utilisation du cyclopropane et encore seulement selon une technique peu souple qui ne peut s'adresser habituellement qu'aux anesthésies de courte durée.

— D'autre part, à notre avis, cette méthode reste peu sûre, même si à l'intérieur du circuit le mélange est inexplosif, à l'occasion de fuites accidentelles au niveau du masque la dilution dans l'air risque toujours de faire apparaître du cyclopropane en proportions explosives au voisinage de l'appareil.

Les gaz ou vapeurs inflammables

a) Pour écarter le risque d'explosion, on peut envisager la suppression pure et simple de ces produits.

Cette suppression est actuellement possible étant donné le nombre et la qualité des agents intra-veineux ou gazeux non explosifs dont on dispose en anesthésie.

Dans ce cas, le véritable problème est donc de comparer les risques d'une anesthésie utilisant les agents explosifs aux risques propres à l'anesthésie utilisant uniquement les agents non explosifs : on optera évidemment pour la solution offrant les risques les plus faibles.

Le résultat de cette comparaison permettant d'éliminer ou non l'emploi d'un gaz explosif est d'une estimation parfois délicate. Il est à envisager en fonction de nombreux cas particuliers et dépend de l'état et de l'âge du malade, du type de chirurgie dans une certaine mesure, mais aussi de l'équipement dont on dispose, de la compétence du personnel chargé de l'anesthésie et même de la surveillance post-opératoire.

Dans le cadre de cette étude nous ne pouvons envisager de discuter toutes les indications éventuelles des agents explosifs ni tenter d'énumérer les cas où l'emploi de ces derniers doit encore être considéré comme la solution la moins dangereuse.

Nous donnerons seulement les conclusions auxquelles cette discussion semble aboutir.

Dès 1957, Hugénard écrivait : « La suppression des charges électrostatiques et des étincelles est difficile et onéreuse, car ne souffrant pas de demi-mesures. En conséquence, il nous a paru plus logique et meilleur marché de supprimer les mélanges explosifs de notre service. Ce qui était impossible il y a dix ans est devenu facile aujourd'hui : par la voie pulmonaire nous avons le protoxyde d'azote, le trichloréthylène, encore le chloroforme, le fluothane ; par la voie parentérale, cinq ou six barbituriques et un stéroïde comme narcotiques, la pethidine, le R 875 et d'autres comme analgésiques, au moins cinq dérivés de la phénothiazine comme potentialisateurs et sept ou huit curarisants sans compter la procaine, l'alcool et sans parler des anesthésies rectales, locales et rachidiennes. La suppression de l'éther et du cyclopropane, quels que soient, par ailleurs, les avantages de ces explosifs, ne

semble pas avoir diminué la sécurité du malade, ni compliqué la tâche du chirurgien. Peut-être exige-t-elle davantage de connaissances de la part de l'anesthésiologiste, mais pas plus que ce que l'on est en droit d'attendre de ce spécialiste en 1957.

Cette opinion nous paraît à plus forte raison valable en 1962, alors que la pharmacopée s'est encore enrichie de nombreuses substances capables de satisfaire aux divers impératifs des anesthésies les plus variées.

Nous pensons donc que dans la grande majorité des cas la suppression des anesthésiques explosifs peut être envisagée.

Il reste cependant des cas relativement rares, pour lesquels les explosifs ne peuvent être encore actuellement remplacés pour des raisons tenant plus souvent sans doute à un équipement déficient et à l'absence d'un personnel suffisamment qualifié (les agents intra-veineux demandent en particulier toujours une surveillance précise et prolongée, ainsi que la possibilité d'une réanimation respiratoire) qu'au type de chirurgie ou à la condition du malade. (Cependant, ici, il faudrait examiner entre autres le cas du nouveau-né ou du nourrisson et le cas de la chirurgie des voies biliaires.)

b) On peut aussi envisager d'éloigner ou de séparer simplement les gaz explosifs des sources d'allumage éventuelles.

Plusieurs procédés, plus ou moins compliqués, prétendent arriver à ce résultat. Ce sont :

— Le simple écran de champs humides isolant le circuit anesthésique.

Il est à peine utile de souligner que ce procédé, bien que le plus ancien et le plus classique, présente l'inconvénient d'être peu sûr, la séparation ainsi obtenue étant d'une étanchéité très relative.

— L'usage du circuit clos.

Il peut aussi être considéré comme un moyen de protection contre les explosions en évitant aux gaz dangereux de se répandre dans l'atmosphère, mais remarquons tout de suite qu'il oblige à se limiter à l'emploi d'une technique d'anesthésie discutable.

— L'utilisation d'appareils permettant l'élimination directe des mélanges explosifs à partir du circuit anesthésique.

Contrairement au précédent, ce procédé rendrait possible l'usage de la méthode ouverte ou semi-ouverte.

Un tel appareil a été conçu et mis au point dans tous ses détails par J. Lahaut (Mons, Belgique). Pour pouvoir juger de sa valeur, nous en donnerons très brièvement une description schématique :

Il s'agit d'un circuit d'aspiration spécial pouvant s'adapter, de manière parfaitement étanche, à la soupape normale de l'appareil d'anesthésie utilisé.

Les caractéristiques de ce circuit d'aspiration et de son moteur sont calculées de telle sorte que son fonctionnement ne perturbe en aucune façon le jeu normal de la valve et ne gêne pas ses manipulations. Le circuit permet simplement l'élimination immédiate à l'extérieur de la salle d'opération de tous les gaz s'échappant au niveau de cette valve.

L'utilisation d'un tel système suppose évidemment qu'une fois les circuits montés on n'ait en aucun cas besoin de les démonter au cours de l'anesthésie. En particulier, si l'on veut utiliser un bac à chaux sodée à certains moments, il faut non pas l'intercaler à ce moment dans le circuit, mais le placer à demeure en dérivation. Il n'est pas souhaitable non plus de le changer au cours de l'intervention.

Les trois procédés que nous venons de décrire peuvent être critiqués de la même manière :

Ils sont peu sûrs (même le dernier) parce que fondés sur des données trop théoriques : la meilleure preuve en est que nous avons eu connaissance d'explosions graves survenues malgré l'usage du circuit clos. Les raisons en sont les suivantes :

1) Ces dispositifs ne tiennent pas compte de la possibilité d'une source d'allumage à l'intérieur même du circuit : or, nous avons vu que l'électricité statique peut parfaitement en produire, même si l'intérieur des circuits et des ballons est humide ; des étincelles minuscules mais dangereuses peuvent éclater en bond au-dessous d'une barrière protectrice trop faible ou au-dessus des zones

d'humidité. Pour être valables, ces procédés devraient donc être complétés par des mesures de protection contre l'électricité statique au niveau de tout l'appareillage d'anesthésie.

2) Surtout, ces dispositifs ne tiennent pas compte des fuites accidentelles; or, en pratique, lorsqu'on utilise un masque, il est impossible de ne pas avoir de fuites au moins entre le masque et le visage du patient à un moment ou à un autre de l'anesthésie. D'autre part, même si le patient est intubé de manière étanche, logiquement il ne faudrait pas utiliser les agents explosifs avant l'intubation, ce qui diminue beaucoup l'intérêt de la méthode. Enfin, la période dangereuse de la fin de l'anesthésie et de la détubation, dont nous avons parlé à propos des causes, n'est pas supprimée.

Remarquons encore qu'une certaine quantité du mélange explosif peut passer dans l'estomac et peut présenter un danger en cas d'intervention sur cet organe avec électrocoagulation...

Ces réserves étant faites, l'usage du circuit véritablement clos, d'ailleurs bien rarement indiqué en pratique, ne nous paraît en soi, pas plus un moyen suffisant de protection que l'utilisation des champs humides.

Par contre, nous pensons que les appareils du type de celui décrit par Lahaut peuvent, malgré la complication qu'ils représentent, constituer un élément de protection très appréciable, à condition d'être complétés par d'autres mesures.

Il en est de même du procédé suivant :

— La ventilation de la salle d'opération :

Ce procédé vise à éliminer rapidement de la salle d'opération les gaz explosifs provenant des fuites volontaires ou involontaires du circuit anesthésique. Pour donner sa pleine efficacité, la ventilation doit avoir un débit important et être « orientée » comme le recommande Hazeman (inspecteur général de la santé et de la population, arrêté du 16 septembre 1959, en complément du décret du 13 août 1954).

La ventilation minima doit être de 120 mètres cubes à

l'heure, agir de haut en bas et même, bien que les règlements ne l'exigent pas, les bouches d'amenée et d'évacuation d'air doivent être placées de telle sorte qu'on obtienne un balayage de la table d'opération et de la table d'anesthésie.

Les sources d'allumage

Leur suppression est possible, mais au prix de multiples précautions. Le problème pratique est ici de n'en laisser persister aucune.

Pour les supprimer, il faudra d'abord s'attacher à les découvrir; c'est ce que nous avons cherché à faire lorsque nous avons parlé des causes d'explosion. Ensuite il faudra adopter la mesure appropriée à chaque type de source d'allumage :

1° Les flammes et les surfaces incandescentes

Le seul procédé consiste à les dépister comme nous l'avons vu et à les éliminer soigneusement, ce qui est toujours possible.

2° Les sources d'allumage dues à l'équipement électrique

Les moyens de les supprimer découlent directement de leur identification. Ce sont :

— La suppression pure et simple de tout instrument chirurgical utilisant les courants à haute fréquence, lorsqu'on emploie les agents explosifs : nous avons vu que le danger subsiste quelle que soit la distance qui sépare l'appareil à électrocoagulation ou le bistouri électrique du circuit anesthésique.

Toutefois, il faut remarquer que certains de ces bistouris électriques sont munis d'un dispositif qui permet d'envoyer un jet d'azote sous pression à l'endroit précis où jaillissent normalement les étincelles, balayant ainsi à ce niveau toute trace de gaz combustible ou comburant.

Un tel procédé procure, jusqu'à un certain point, une garantie indéniable contre le risque d'explosion, puisque la source d'allumage située à l'extrémité de l'appareil est ainsi à peu près séparée des deux autres facteurs nécessaires à l'explosion. Cependant, cette garantie est encore incomplète. Comme nous l'avons vu, il n'est pas possible

d'être assuré que toutes les étincelles créées par l'appareil se produiront à l'intérieur du jet d'azote (en particulier du fait de la possibilité d'étincelles par courants induits même à distance du bistouri ou de l'électrocoagulateur, en d'autres points de l'appareillage ou de la table d'opération).

— La suppression, dans les mêmes conditions, des appareils utilisant l'échauffement d'un conducteur. Avec eux, toutefois, on pourrait théoriquement admettre l'emploi des gaz explosifs lorsque la distance est suffisante pour qu'un mélange inflammable ne vienne pas directement au contact de l'appareil dangereux.

Les Américains recommandent, lorsqu'une électrocoagulation est nécessaire, particulièrement en oto-rhino-laryngologie, chez un malade anesthésié à l'aide d'un gaz explosif, d'arrêter au préalable toute administration de ce gaz, d'en éloigner suffisamment les sources et de pratiquer le test suivant :

A l'aide d'une seringue de 10 cc introduite jusqu'à mi-corps dans la cavité buccale du sujet, on prélève un échantillon du gaz expiré. A l'extérieur de la salle, on approche d'une flamme nue l'orifice du corps de la seringue après en avoir retiré complètement le piston. On ne pratique la coagulation que lorsque cette épreuve ne fait plus apparaître la moindre flamme.

En dehors de quelques cas particuliers, cette méthode ne nous paraît pas cependant avoir une bien grande portée pratique.

— La révision complète de tous les éléments des circuits électriques de la salle d'opération :

— Remplacement des prises de courant et des interrupteurs ordinaires par des dispositifs ne pouvant émettre d'étincelles à l'air libre : il existe à cet effet des interrupteurs et des prises de courant spécialement étudiés qui seuls garantissent contre ce danger ; ces appareils sont construits de telle sorte que le contact ne s'établisse que dans une enceinte étanche : les prises de courant sont munies de manchons spéciaux, les interrupteurs sont du type « à mercure », ce qui rend impos-

sible tout contact entre les étincelles et l'atmosphère de la pièce;

— Dispositions des prises de courant à plus de un mètre du sol (zone où les concentrations dangereuses risquent le moins d'être atteintes). En fait, 1 m. 60 serait un minimum;

— Elimination des fils souples de rallonge;

— Les câbles simples d'alimentation des appareils doivent être réduits au minimum, à la fois en nombre et en longueur; ils ne sont admissibles que pour les appareils dont la mobilité est indispensable. Ces câbles doivent être maintenus en parfait état, avoir une résistance mécanique suffisante et ne comporter aucun raccord;

— Toutes les prises, qu'elles soient mono ou triphasées, doivent comprendre une mise à la terre de même que tous les câbles électriques;

— Installation de carters étanches pour les moteurs électriques nécessaires en salle d'opération ou remplacement par des moteurs du type « à cage d'écureuil » ou encore élimination des moteurs pouvant être placés à l'extérieur de la salle (par exemple pour l'aspiration);

— Utilisation exclusive pour les lampes des divers appareils d'endoscopie, de l'alimentation par piles à bas voltage;

— Elimination, dans ces mêmes appareils, des ampoules trop fragiles et vérification de la température produite lors du fonctionnement (toute ampoule dégageant en pratique une chaleur telle qu'on ne puisse la conserver dans le creux de la main doit être éliminée);

— Vérification dans le même état d'esprit de tous les appareils électriques complexes entrant en salle d'opération : respirateurs, appareils à rayons X.

Les appareils à rayons X introduits en salle d'opération doivent être spécialement protégés

contre le risque d'étincelage, mais, de toute façon, ils doivent être utilisés avec la plus grande circonspection, parce qu'ils représentent toujours un certain danger de production de sources d'allumage malgré cette protection ;

— Enfin, pour être efficaces, ces mesures supposent l'entretien méticuleux et l'inspection fréquente de tout ce matériel par un personnel averti, en particulier en ce qui concerne l'état des conducteurs mobiles : nous avons vu les dangers qui résultent de l'emploi d'un fil souple en mauvais état.

3° Les sources d'allumage dues à l'électricité statique

Ce sont elles qui posent les problèmes les plus complexes quant à leur élimination.

A ce point de vue, nous partageons l'opinion de J. Bureau qui s'exprime en ces termes :

« Rien n'est moins contrôlable que la production d'électricité statique. On ne l'interdit pas. Il ne faut même pas chercher à supprimer sa création, car cette suppression est illusoire. Tout frottement oriente les électrons superficiels et « charge » le corps à raison de l'énergie dépensée. Il ne faut pas compter éviter le phénomène. Simplement il faut le neutraliser. »

Les mesures permettant de neutraliser l'électricité statique sont les suivantes :

a) D'abord, il faut rendre conducteurs, dans la mesure du possible, tous les accessoires et le matériel non métallique contenus dans la salle d'opération.

En pratique, le problème se pose essentiellement pour les accessoires normalement en caoutchouc ou en matière plastique et pour les textiles utilisés en salle d'opération.

— Les accessoires normalement en caoutchouc ou en matière plastique :

Il en existe dans le commerce dont la conductibilité électrique est garantie. Ils sont faits de caoutchouc au carbone reconnaissable à sa couleur noire et au label de

garantie qu'il porte (tous les caoutchoucs noirs ne sont pas conducteurs !) Tous les conduits, masques et ballons utilisés pour l'anesthésie doivent être fabriqués avec cette matière (sauf toutefois les sondes endotrachéales...). Il faut rejeter les accessoires simplement recouverts d'une pellicule conductrice qui s'altère à l'usage : le matériau doit être conducteur dans toute son épaisseur (pour le reconnaître, il suffirait de couper le caoutchouc et d'examiner la tranche de section).

De même les autres accessoires en caoutchouc, tel le matelas de la table d'opération, doivent être rendus conducteurs par adjonction de carbone dans la matière de fabrication.

— Les textiles servant à la garniture des tables, à la fabrication des champs, à l'habillement du personnel et du malade :

Parmi ceux-ci, seul le coton présente une conductibilité satisfaisante (il ne devra cependant pas être utilisé dès sa sortie d'un stérilisateur, car à ce moment l'état de dessiccation inhabituel des fibres rend la conductibilité insuffisante).

En pratique on ne devra donc admettre, dans la salle d'opération, d'autres textiles que le coton ; cependant :

— Il nous paraît exagéré et en fait sans intérêt réel d'aller jusqu'à exiger l'utilisation exclusive du coton pour les sous-vêtements, comme on le fait dans de nombreuses salles d'opération américaines ;

— D'autre part, une couverture contenant par exemple 90 % de coton, 5 % de laine et 5 % de rayonne pourra être considérée comme non dangereuse ;

b) Ensuite il faut obtenir une mise à la terre effective de tous ces accessoires et de ce matériel, ainsi que du personnel.

Cette mise à la terre ne pourra s'effectuer par l'intermédiaire de fils métalliques rejoignant la terre vraie : la salle d'opération serait transformée en un réseau inextricable dans lequel, en parti-

culier, les opérateurs se prendraient sans cesse les pieds. La mise à la terre ne peut donc être obtenue qu'en trois étapes reliant successivement :

— Les accessoires au sol;

— Les divers points du sol entre eux (ce qui revient à obtenir un sol conducteur dans son ensemble);

— Le sol conducteur lui-même à la terre vraie.

Nous avons vu, dans la première partie de notre exposé, que pour écarter tout danger, la somme de ces trois « résistances de fuite » ainsi intercalées entre un accessoire donné et la terre ne devait pas dépasser une certaine valeur. En pratique, on peut donc résoudre le problème de la manière suivante :

— En ce qui concerne le contact entre les accessoires et le sol :

Il doit être établi par des résistances aussi faibles que possible.

Le problème est simple quand les accessoires sont fixés à demeure : il suffit que les points d'appui soient métalliques. Il est plus complexe pour les objets mobiles; or, ce sont évidemment de loin les plus nombreux : les chariots, les tables d'opération, les tables d'instruments, les appareils d'anesthésie, les respirateurs, etc..., peuvent être munis, dans ce but, de chaînettes qu'on laisse traîner sur le sol; ce procédé paraît peu sûr et en définitive à condamner. Il a été trouvé à la mesure (par J. Bureau) des résistances extrêmement élevées pour bien des types de chaînettes. Une chaînette faite de maillons indépendants n'est conductrice que lorsqu'elle est soumise à une traction minimum. Or, cette traction minimum augmente avec l'âge et l'oxydation. Une chaînette dont l'extrémité repose sur le sol est soumise à une faible traction de chaînon à chaînon, de plus son contact au sol est fonction de sa surface et de son poids qui sont faibles l'un et l'autre. Enfin sa conductibilité est discontinue dans les mouvements qu'on lui imprime.

A notre avis, le meilleur procédé consiste à munir tous ces appareils de roulettes de caoutchouc conducteur spécial. Par cette méthode, on obtient des valeurs de résistance réellement négligeables entre les appareils et le sol, à condition de veiller à ce que la surface de ces roulettes reste propre (elles risquent de se recouvrir de cire en passant dans les couloirs ou de talc dans la salle d'opération). Lorsqu'elles sont soumises au poids normal des appareils qu'elles sont destinées à supporter, de telles roulettes peuvent avoir une résistance ne dépassant pas mille ohms.

Le personnel doit de même être relié au sol :

Aux Etats-Unis, plusieurs firmes ont mis sur le marché des modèles de chaussures spécialement étudiées pour garantir une conductibilité suffisante. Toutefois, nous avons vu que les semelles de cuir sont habituellement acceptables (à leur sujet remarquons en passant qu'il faudrait éliminer leurs plaques de protection métalliques qui risquent de provoquer des étincelles en heurtant le sol).

— En ce qui concerne la résistance du sol de la salle d'opération :

Celle-ci doit être comprise entre des limites bien précises pour lesquelles nous adopterons l'estimation de J. Bureau qui nous a paru la mieux étudiée, bien que différant assez nettement des résultats adoptés en Grande-Bretagne (par contre, elle se rapproche davantage des normes américaines) :

— Limite supérieure.

La mise au sol étant assurée par des résistances négligeables, comme nous venons de l'indiquer, si les charges accumulées dans un élément quelconque de la salle d'opération trouvent encore un chemin d'écoulement plus résistant que 100 mégohms, le potentiel de cet élément peut être soumis à une ascension progressive par rapport aux autres éléments et par rapport à la terre toujours présente par les conduites de fluide et par le gros œuvre. Il faut donc que le chemin d'écoulement offert par le sol soit inférieur à 100 mégohms à partir de n'importe lequel de ses points.

Pour permettre une sécurité suffisante, il faudrait retrancher au moins deux zéros à cette valeur limite. J. Bureau propose de fixer la norme supérieure à :

500.000 ohms

Cette norme intéresse également les deux conductibilités superficielle et transversale.

— Limite inférieure.

Elle est fixée par la nécessité :

a) D'éviter de mettre les opérateurs au potentiel de la terre dans le cas où ils toucheraient une phase du secteur : un sol trop conducteur et dont les opérateurs ne seraient pas isolés pour les raisons que nous avons indiquées, représenterait pour eux en pratique un très grave danger d'électrocution (nous savons déjà que la majorité des accidents d'électrocution surviennent entre une seule phase et la terre);

b) D'éviter de remplacer le risque d'étincelles électrostatiques, par le risque d'étincelles d'électricité dynamique par faux contact entre une phase du secteur et un objet mis à la terre;

c) De mettre tout de même le sol à un potentiel assez voisin de la terre pour pouvoir utiliser sa surface comme élément de protection.

Le calcul de la limite inférieure peut donc s'effectuer ainsi :

$$R = V/I$$

$V = 110$ volts; car les appareils manipulables par les chirurgiens doivent être alimentés au maximum en 110 volts à travers un transformateur d'isolement.

$I = 10$ milli-ampères; courant limite supportable par une personne humaine.

$$\text{Donc } R = 110/10 = 11.000 \text{ ohms}$$

J. Bureau propose, pour adopter un coefficient de sécurité suffisant, de fixer cette limite inférieure à :

50.000 ohms

Comme nous l'avons signalé plus haut, d'autres valeurs ont cependant été proposées aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne :

Un comité américain a demandé récemment que la résistance des sols de salle d'opération, mesurée entre deux électrodes distantes de trois pieds, soit comprise entre 500.000 et 25.000 ohms.

Par contre, en Grande-Bretagne, le ministère de la Santé demande que la résistance d'un sol sec soit comprise entre 2.000.000 et 50.000 ohms.

— En ce qui concerne le raccordement du sol à la terre :

La conduction superficielle des sols, prolongée par les roulettes conductrices des chariots et des appareils, permet un nivellement des potentiels de tous les éléments de la salle, résolvant ainsi les risques d'étincelage lié aux différences de potentiel. Le raccordement du sol isoélectrique à la terre elle-même ne serait donc pas nécessaire si la présence des tubes d'adduction d'eau et d'oxygène n'imposait pas, dans la salle, l'existence d'un potentiel fixe, celui de la terre. Il pourrait subsister une différence entre le potentiel fixe et le potentiel isoélectrique du sol. C'est pourquoi, en vue de neutraliser cette différence, il faut, d'une part, établir un sol isoélectrique et, d'autre part, le raccorder à la terre, cette dernière étant correctement construite et sa résistance vérifiée périodiquement.

Très récemment, de nouvelles études ont permis de mettre au point un procédé original et qui offre une sécurité supplémentaire; il consiste :

- 1) à réaliser un sol hautement conducteur (4.000 ohms de résistance transversale);
- 2) à l'isoler complètement du gros œuvre et des conduites de fluides;
- 3) à le raccorder directement à la terre à l'aide d'une résistance concrète et réglable R.

Le gros avantage de cette méthode est qu'elle permet véritablement de régler de manière constante et précise la somme des résistances intercalées entre les accessoires et la terre. La résistance du sol est en effet variable, en particulier selon son degré d'humidité, la façon dont il a été lavé...

Soit R' la résistance de ce sol, on voit que par ce procédé on peut fixer exactement la limite inférieure de conductibilité en réglant R de telle sorte que :

$$R + R' = 50.000 \text{ ohms}$$

On élimine ainsi le risque de voir cette limite inférieure descendre au-dessous du seuil de danger.

Il existe, en France, un établissement spécialisé qui peut se charger de la réalisation de tels sols « suspendus électriquement ».

Un premier sol de ce type, donnant les valeurs prévues, a été établi à l'hôpital d'Auxerre.

Après avoir ainsi exposé les principes qui doivent présider à l'établissement d'un sol de conductibilité appropriée, il nous reste à examiner rapidement les moyens permettant de le réaliser :

Nous avons vu qu'en pratique, le sol des salles d'opération dont la construction n'est pas toute récente, ne répond en général pas aux conditions de sécurité que nous avons définies. Deux cas sont donc à considérer :

- Celui des salles déjà en service et dont le sol doit être « corrigé » par des procédés appropriés;
- Celui des salles que l'on construit actuellement.

Dans le premier cas il faut, avant tout, faire des mesures de la résistance effective du sol.

Une méthode de mesure normalisée est à l'étude; des appareils spéciaux existent, tels les mégohmmètres électroniques ou le mégohmmètre Chauvin et Arnoux.

Toutefois, il semble possible de se contenter d'un procédé simple comme celui qu'utilise J. Bureau et qui ne nécessite, nous l'avons vu, qu'un appareil de mesure assez courant (ohmmètre à 20.000 ohms par volt et pile de 20 volts, la résistance étant mesurée entre une tache de sérum physiologique et la terre). Une telle

méthode n'est peut-être pas très rigoureuse, mais elle est suffisamment fidèle et constante dans ses résultats.

Pour obtenir un sol de meilleure conductibilité, divers procédés peuvent être envisagés, mais aucune recette générale n'existe pour améliorer une vieille salle.

De toute façon, quel que soit le cas, le travail doit être confié à un ingénieur spécialisé.

On pourra être ainsi amené à établir :

— Soit un sol normal en céramique conductrice :

Dans le cas d'une salle ancienne on posera sur le plancher normal :

1) Une chape de ciment de 2 cm d'épaisseur, composée de ciment légèrement conducteur par inclusion de graphite ou de noir d'acétylène en quantité modérée pour ne pas altérer sa texture physique (2 kg de noir d'acétylène au mètre cube de ciment environ, donnant 40 mètres carrés de surface);

2) Cette chape de scellement sera placée sur un plan de treillis soudé, à mailles de 5 cm $\times$ 5 cm en fil de 2 mm de diamètre dont les différentes parties seront réunies par une bande de cuivre d'une section, de l'ordre de 20 mm soudée au plus grand nombre de points possible;

3) Sur cette chape seront posés les carreaux de grès cérame de 5 cm $\times$ 5 cm. Tout récemment, il en a été mis sur le marché dont la conductibilité est réellement calculée et non plus empirique;

4) La bande de cuivre sera reliée à la terre par une bande identique et un piquet spécial comprenant une barrette de mesure.

Cette façon de faire présente l'avantage de n'exiger aucune condition particulière pour la pose du carrelage sur sa chape normale.

— Soit un sol suspendu électriquement selon le principe que nous avons exposé plus haut :

C'est certainement le procédé le plus rigoureux et celui qui est à utiliser de préférence pour la création de nouvelles salles où l'on envisage d'utiliser les agents explosifs.

— Soit un sol avec revêtement en plastique spécial (vinyl plastic).

Cette solution est largement utilisée aux Etats-Unis. L'Armée Américaine fait installer ce type de sol dans presque toutes les salles d'opération de ses hôpitaux.

Le produit utilisé ne se poinçonne pas au contact des pieds de table et de chariot.

Il se présente sous forme de carreaux de quelques millimètres d'épaisseur, qui se posent comme précédemment sur un lattis métallique (il ne semble pas qu'on puisse compter sur une soudure de carreau à carreau pour assurer une conductibilité longitudinale suffisante).

Le matériau est rendu conducteur par l'inclusion de veines de poudre oxy-métallique ou carbonée, ce qui lui donne son apparence chinée. Ce matériau est importé sur le marché français.

— Soit enfin un sol avec revêtement de caoutchouc conducteur, mais ce produit, au contraire des précédents, offre le grave inconvénient de se poinçonner au contact des pieds de table et de chariot.

Il existe cependant des *moyens de fortune* permettant d'éviter dans une certaine mesure les dangers d'explosion par électricité statique, lorsqu'on utilise les gaz explosifs et qu'on ne dispose pas d'un sol conducteur.

Ils se ramènent essentiellement à deux méthodes, bien que de nombreuses variantes soient possibles :

1) La méthode du « couplage humain ».

L'anesthésiste garde une main en contact avec le menton du malade et le masque conducteur ou la sonde, l'autre main reposant sur une des parties métalliques de l'appareil d'anesthésie. Ainsi l'anesthésiste, le malade, la table d'opération (si le matelas n'est pas isolant) et l'appareillage d'anesthésie sont toujours à peu près au même potentiel et il ne peut se produire d'étincelle électrostatique entre ces objets qui sont habituellement les plus dangereux.

Il est évident qu'une telle méthode, même aussi limitée, a le grave inconvénient de ne pouvoir être employée que d'une manière discontinue. Il n'est pas possible d'immobiliser en permanence les mains de l'anesthésiste pour évacuer les charges d'électricité statique !

2) La méthode des « intercouplages à résistance ».

Il s'agit de fils conducteurs spéciaux reliés de telle sorte qu'ils réalisent une interconnexion entre les principaux appareils dangereux. Chaque branche de ce réseau se termine par des agrafes ou des bracelets spéciaux qu'on fixe sur les parties métalliques (non recouvertes de peinture) des appareils en question.

Les conducteurs utilisés ont une résistance calculée pour permettre le nivellement des potentiels sans toutefois provoquer de risques d'électrocution dans le cas où il existerait un défaut d'isolement des circuits électriques sous tension.

A défaut de ce système, il existe un moyen très simple et cependant relativement sûr d'obtenir un tel couplage :

Il suffit de disposer de deux ou trois grandes serviettes humides (ou tout autre morceau de tissu épais mouillé).

— Une serviette est placée sur le sol au contact, d'une part avec le socle métallique de la table d'opération et, d'autre part, avec les pieds de la table d'anesthésie.

— Une deuxième serviette chevauche la première, établissant la connexion entre l'appareil d'anesthésie et le tabouret de l'anesthésiste.

— Si la table d'opération est munie d'un matelas non conducteur, une troisième serviette mouillée, plus petite, est coincée, d'une part entre l'épaule du malade et le matelas, d'autre part à son extrémité opposée, entre le matelas et le métal nu de la table (la serviette chevauche le bord du matelas).

L'anesthésiste, lorsqu'il est auprès du malade, garde les pieds sur le tissu humide (il doit avoir des chaussures à semelles conductrices). Ainsi tout cet ensemble reste au même potentiel électrique.

Si l'anesthésiste, pour une raison quelconque, doit abandonner son poste, au moment de son retour il doit d'abord entrer en contact avec le tissu humide avant de toucher aux appareils.

Pour éviter le danger d'un choc électrique, quand un tel système d'intercouplage humide est utilisé, il est nécessaire que l'équipement électrique soit en parfait état.

Vis-à-vis de l'électricité statique, il existe encore un phénomène assez particulier qui peut jouer un rôle dans certains cas : c'est la charge électrique, par frottement entre elles, de fines gouttelettes de liquide en suspension dans l'atmosphère, il s'agit du phénomène de ballo-électricité. (Rappelons que la charge électrique des gouttes d'eau en suspension dans les nuages peut provoquer des orages !)

A ce point de vue, il serait utile de proscrire l'utilisation des pulvérisateurs en salle d'opération.

Signalons enfin que, théoriquement, il existerait encore un moyen de supprimer le risque d'étincelage électrostatique : c'est l'emploi des radio-isotopes.

Ces derniers permettent de décharger les corps électrisés statiquement sans étincelage, ce procédé est d'ailleurs largement utilisé dans l'industrie. Mais il paraît difficile d'introduire des produits radio-actifs dans une salle d'opération. Comme le fait remarquer L. Amy, pour obtenir la décharge, quel que soit le point où l'électricité statique vienne à s'accumuler, il faudrait ioniser l'air et, par conséquent, irradier le personnel en permanence, à moins d'utiliser des émetteurs alpha dont la zone de protection ne s'étend pas au-delà de quelques millimètres, ce qui rendrait leur emploi inintéressant en pratique.

4° Les sources d'allumage dues aux manipulations de l'oxygène à haute pression

Ce danger réel est souvent sous-estimé.

Les mesures de prévention dans ce domaine sont aisées et toujours suffisantes, lorsqu'elles sont correctement prises, pour éviter la formation des dangereuses « flammes éclair » :

— Les obus d'oxygène doivent être manipulés avec précautions.

— Les vannes d'admission d'oxygène à haute pression doivent toujours être ouvertes de manière très progressive.

— Toute graisse et, d'une manière plus générale, tout lubrifiant un tant soit peu inflammable, doit être prohibé sur toutes les pièces entrant en contact avec l'oxygène pur. Dans le même ordre d'idées, on doit s'abstenir de toucher aux mano-détendeurs avec des mains grasses.

— Les robinets et toutes les pièces des réducteurs de pression doivent être faits de matériaux incombustibles.

D'autre part, précisons à nouveau ici que le mélange cyclopropane-oxygène à haute pression pouvant être auto-détonnant, tout montage permettant d'obtenir ce mélange en amont du mano-détendeur, doit être proscrit.

Enfin, un autre point concernant exclusivement l'éther doit être précisé :

Pour éviter la formation de peroxydes qui, en plus de leurs actions irritantes sur les voies respiratoires, ont l'inconvénient d'être extrêmement explosifs, il est nécessaire :

— De conserver l'éther anesthésique à l'abri de l'air et de la lumière.

— De vider l'éther contenu dans les flacons de l'appareillage après chaque usage et de laver ces flacons périodiquement de façon très soigneuse.

Insistons à ce propos sur l'utilité de vider le flacon d'éther aussitôt après l'intervention : nous avons déjà signalé la possibilité d'explosions au cours d'anesthésies ultérieures n'utilisant pas les agents explosifs, lorsque cette précaution simple n'a pas été prise. Nous donnerons un exemple de ce genre d'accident dans notre chapitre consacré à l'étude de quelques cas concrets.

Rôle de l'état hygrométrique de l'atmosphère de la salle d'opération

Son rôle est capital vis-à-vis du développement des charges électrostatiques, c'est pourquoi la présence d'un hygromètre nous paraît indispensable lorsqu'on envisage d'utiliser des agents explosifs, l'atmosphère des salles d'opération ayant souvent tendance à être anormalement sèche.

L'humidité de l'air dans la salle doit toujours dépasser 60 % et il serait bon de pouvoir obtenir une saturation de 70 ou 80 % (des taux supérieurs seraient gênants pour les opérateurs et d'utilité discutable).

Cependant, contrairement à une opinion courante, l'humidification importante de l'atmosphère n'est pas une mesure suffisante pour empêcher l'accumulation d'électricité statique. Plusieurs explosions dues à celle-ci ont été rapportées alors que l'humidité relative était de 65 % et même, une fois, de 76 %.

Au terme de cet exposé des moyens de prévention des explosions en salle d'opération, il paraît nécessaire de commenter quelques points :

1° Il est bien sûr possible d'effectuer des centaines d'anesthésies aux agents inflammables sans pratiquement prendre aucune de ces précautions et sans avoir un seul accident.

Très fréquemment, des anesthésies à l'éther sont encore pratiquées sans précautions spéciales, alors que le chirurgien utilise un bistouri électrique et que, par exemple, un bec Bunsen brûle dans un coin de la salle d'opération; pourtant les explosions sont rares.

D'autre part, nous avons en particulier relevé dans la littérature médicale, un article d'un chirurgien parisien utilisant couramment l'électrocoagulation lorsqu'il pratique des thoracoplasties sous cyclopropane-oxygène et se vantant de ne pas craindre les accidents, n'en ayant jamais eu (nous avons par ailleurs aussi relevé dans la même littérature des accidents graves survenus dans ces conditions tout particulièrement dangereuses étant donné le voisinage de la plèvre et du poumon contenant le mélange explosif).

Mais de tels arguments n'ont évidemment aucune valeur pour juger de la nécessité des mesures de prévention : il est d'observation courante qu'on peut, fort heureusement, prendre longtemps des risques inutiles sans en subir les conséquences et sans même en avoir conscience, mais il est certain que ce n'est nullement une raison pour se sentir autorisé à continuer de les prendre.

2° Beaucoup des mesures de prévention que nous décrivons sont onéreuses ou de réalisation difficile : c'est le cas en ce qui concerne les sols isoélectriques par exemple, pourtant, lorsqu'on emploie les agents explosifs, la sécurité, quasi totale dans ce domaine, ne peut être obtenue que lorsqu'on prend l'ensemble de ces précautions. La simple suppression des sources d'allumage évidentes ne permet d'éviter que les plus gros risques.

Résumons donc brièvement les principaux points sur lesquels la prévention doit porter :

- Suppression des sources d'allumage permanentes et parmi celles-ci nous comprenons les appareils à électrocoagulation même pourvus d'un système de projection d'azote : leur emploi ne doit jamais être admis en présence d'agents explosifs, quelle que soit la distance entre l'endroit où on les utilise et les voies respiratoires du malade et, évidemment, à plus forte raison, lorsqu'on voudrait les utiliser sur les voies respiratoires ou sur le poumon. (Il appartient à l'anesthésiste de rappeler ce fait au chirurgien.)

- Equipements spéciaux dans le domaine des circuits électriques de la salle d'opération et vérifications périodiques minutieuses de tous les éléments de ce circuit.

- Mise à la terre efficace de tout le matériel de la salle d'opération préalablement rendu conducteur.

- Ventilation appropriée des locaux.

- Etat hygrométrique convenable.

- Elimination de la salle d'opération des réserves d'agents explosifs (en particulier d'éther) dès qu'on a fini de les employer.

Enfin, lorsqu'on prend ces mesures, il ne faut pas perdre de vue les principes généraux rappelés par L. Amy :

Aucune méthode de prévention n'est par elle-même suffisante, car les défaillances dans son application sont toujours à craindre ; il est nécessaire de superposer les mesures de protection.

Cependant, ces mesures apportent toujours une entrave, soit financière, soit, ce qui est plus grave, professionnelle : on ne peut donc les multiplier indéfiniment et il faut trouver un juste milieu approprié au risque.

D'autre part, ces précautions ne valent que par la manière dont elles sont appliquées. Il est en particulier indispensable que ceux qui sont chargés de leur application soient convaincus de leur utilité.

3° Un dernier point nous paraît devoir être tout particulièrement souligné : c'est qu'en matière de prévention des sources d'allumage par électricité statique, les mesures mal prises ou incomplètement prises sont dangereuses, et ceci non seulement parce qu'elles donnent parfois une fausse impression de sécurité dont les conséquences peuvent être graves, mais aussi parce que certaines de celles-ci peuvent être, à leur tour, la source d'un nouveau danger : nous pensons au risque d'électrocution qui apparaît lorsque certains accessoires de la salle d'opération sont rendus trop conducteurs et que le patient ou le personnel sont « mis à la terre » par l'intermédiaire de résistances trop faibles.

Nous avons déjà insisté sur ce danger à propos de la conductibilité des sols, il nous paraît cependant intéressant, avant de clore ce chapitre, de rapporter ici un cas d'électrocution en salle d'opération dont nous avons pu étudier le mécanisme et qui s'est produit tout récemment :

I. — Exposé des faits

Thoracoplastie pour tuberculose pulmonaire.

Anesthésie : Nesdonal - curare - protoxyde d'azote. Intubation. Respiration contrôlée par respirateur mécanique Engström.

Aucune anomalie n'est remarquée au cours de l'intervention avant le déclenchement de l'accident lui-même.

En fin d'intervention, alors que l'opérateur termine la fermeture de la paroi thoracique, l'anesthésiste appuie sur le bouton de l'interrupteur de l'appareil d'Engström, en vue d'en arrêter le fonctionnement.

A ce moment, tous les témoins remarquent que la malade, alors à plat ventre sur la table, est tout à coup très violemment secouée par une contracture musculaire brutale et généralisée, suivie d'un relâchement quasi immédiat, le phénomène évoquant une sorte de « saut de carpe ».

Toutefois, les opérateurs étant loin de soupçonner la possibilité d'une secousse électrique, aucune mesure particulière n'est prise, la suture des plans cutanés terminée, le chirurgien quitte la pièce, les aides font le pansement puis s'apprêtent à retourner la malade et à la transporter sur un chariot. En vue de cette opération, l'anesthésiste saisit entre ses deux mains la tête de la malade et prend en même temps contact, semble-t-il, avec le rebord de la table : il ressent alors une violente secousse électrique et fait un bond en arrière. De même un aide qui s'était approché pour saisir la malade à bras le corps sur la table, ressent lui aussi une secousse électrique. Dans le même temps la personne qui, après avoir ôté ses gants de caoutchouc, maintenait le pansement en place, ressent des picotements caractéristiques sur la surface de ses mains.

L'origine électrique de ces phénomènes étant devenue évidente on débranche alors l'Engström au niveau de l'extrémité de son fil de rallonge. Par la suite, aucune secousse électrique ne sera plus ressentie.

Une fois la malade installée sur le chariot on constate :

a) Qu'elle présente deux brûlures cutanées siégeant aux deux points de son corps que les témoins ont vus en contact avec les parties métalliques de la table : l'une à la lèvre, l'autre à la face externe du bras gauche (brûlures du second degré) ;

b) Qu'au sommeil anesthésique a succédé un coma profond avec mydriase, disparition des réflexes, troubles respiratoires, effondrement tensionnel. On envisage un moment de remplacer la malade sous respirateur, dans ce but, l'Engström est à nouveau branché et mis en marche sans incident. On s'apprête à réintuber, mais on constate que la ventilation redevient suffisante et on ramène la malade à sa chambre.

Dans les heures qui suivent, l'état de la malade s'améliore

progressivement : la mydriase disparaît au bout de deux heures environ, les réflexes réapparaissent, la respiration devient normale, la tension artérielle atteint 8/5, un certain état d'agitation se manifeste et douze à quatorze heures après l'accident la malade émerge lentement de ce coma dont elle ne gardera aucune séquelle.

Notons enfin les détails matériels pouvant être en rapport avec l'accident :

— Le courant électrique utilisé était celui du secteur débité sous 220 volts, toutes les prises étant groupées sur un socle spécial scellé dans le sol de la salle ;

— Les deux seuls appareils électriques utilisés en dehors du système d'éclairage qui ne pouvait en aucun cas jouer un rôle étaient :

— d'une part, le bistouri électrique raccordé directement au socle précédemment cité ;

— d'autre part, le respirateur relié au socle par l'intermédiaire d'un fil souple traversant la pièce et muni d'une « rallonge ». Cette dernière était reliée au fil de l'appareil par une prise mal enfoncée laissant à nu une partie des conducteurs au voisinage des pieds de la table d'opération, mais l'expérience a montré qu'aucun contact n'était possible avec celui-ci (de toute façon, un tel contact n'expliquerait d'ailleurs pas les phénomènes observés).

— Au moment de l'accident, le bistouri électrique n'était pas en position de fonctionnement, le commutateur du tableau de commande était en position telle que l'appareil soit hors circuit. L'électrode du bistouri était déposée dans une enveloppe de coton placée sur le flanc de la malade. Aucune brûlure n'a été retrouvée à ce niveau. La plaque du bistouri était à sa place normale et assurait un large contact.

— La malade reposait sur un matelas de caoutchouc isolant et ne touchait les parties métalliques de la table qu'aux points où l'on a constaté des brûlures.

— L'ensemble constitué par la tuyauterie et la sonde endotrachéale qui reliaient directement la malade au respirateur avait une résistance électrique considérable et en

tout cas supérieure à 100.000 ohms (limite approximative de danger) comme l'ont montré des mesures ultérieures faites pourtant après humidification de l'intérieur des tuyaux.

— Enfin, point capital, l'appareillage du bistouri électrique et la table d'opération elle-même étaient tous les deux mis séparément à la terre et d'une manière dont l'efficacité a pu être contrôlée par des mesures ultérieures. Seul l'Engström n'y était pas.

II. — Discussion

1° *Le phénomène observé ne peut être qu'une électrocution.*

— La secousse initiale et le coma qui l'a suivie sont inexplicables autrement;

— Plusieurs personnes ont ressenti des secousses électriques en touchant la table et la malade au moment de l'accident.

2° *Cette électrocution n'a pu être provoquée que par le courant électrique provenant du secteur.*

Des expériences ultérieures ont montré l'existence sur la table, lors du fonctionnement de l'Engström, de potentiels du type de ceux provoqués par la décharge d'un condensateur; mais l'énergie mise en jeu par ces décharges de capacités aurait été beaucoup trop faible pour expliquer les troubles observés et, d'ailleurs, la persistance des charges qui ont été ressenties à plusieurs reprises, prouve formellement que l'accident ne peut être imputable à de tels phénomènes.

3° *L'appareillage du bistouri électrique peut être mis hors de cause :*

— Parce qu'il était correctement mis à la terre;

— Parce qu'aucune trace de brûlure n'a été relevée au niveau de l'électrode voisine du corps de la malade.

4° *Par élimination il ne reste donc qu'une possibilité :*

La malade a subi un phénomène d'électrocution provoqué par le courant de 220 volts du secteur, parvenu jusqu'à elle par l'intermédiaire du respirateur.

Dès lors, il est possible d'interpréter l'accident de la manière suivante :

Au moment où l'on a arrêté le respirateur, il s'est produit, à l'intérieur de celui-ci, un contact électrique anormal entre son châssis métallique et l'un des conducteurs contenant une phase du secteur; ce qui constitue un banal défaut d'isolement comme il s'en produit souvent dans les appareils électriques et qui passent inaperçus dans les cas habituels.

Un objet conducteur s'est trouvé toucher simultanément l'appareil et le malade, ce dernier étant en contact avec la table et, par conséquent, « mis à la terre » par son intermédiaire.

Le châssis de l'Engström n'étant pas lui-même à la terre, il s'est immédiatement produit un courant électrique allant du fil mal isolé à la terre, en passant par le malade, courant dont l'intensité pouvait ainsi être assez considérable pour produire une électrocution. Les brûlures observées témoignent bien de la « fuite » du courant par la table d'opération.

En définitive, cet accident est le résultat de la combinaison :

— d'une négligence : prise de terre de l'Engström non branchée

— et d'une mesure de sécurité mal prise : table d'opération mise directement à la terre.

Ceci montre bien qu'une personne reliée à la terre par des résistances négligeables, dans une pièce où existent des appareils électriques alimentés par du 220 ou même du 110 volts, court un très grave danger d'électrocution.

Au total, les mesures de sécurité contre l'électricité statique en salle d'opération doivent donc être prises correctement et à bon escient, sinon le remède risque d'être pire que le mal.

CONSEQUENCES CLINIQUES DES EXPLOSIONS EN SALLE D'OPERATION

L'étude des lésions produites par une explosion de gaz anesthésiques en salle d'opération ne représente qu'un cas particulier de l'étude générale des conséquences de la détonation ou de la déflagration d'un milieu gazeux explosif sur un organisme humain en contact avec ce milieu.

En plus des traumatismes provoqués indirectement par la projection éventuelle de débris d'objets détruits par l'explosion, les lésions produites par ces phénomènes sont de deux sortes :

1° Des brûlures dues à la propagation de la combustion des gaz au contact de la peau et des voies respiratoires ;

2° Des traumatismes dus à la propagation de l'onde de surpression, en particulier à l'intérieur des voies respiratoires où l'on pourra observer des ruptures des parois.

L'éventuelle propagation de la combustion et de l'onde de surpression à l'intérieur des voies respiratoires est en fait pratiquement toujours la source des lésions les plus graves.

L'un ou l'autre type de lésions peut prédominer en fonction de la répartition du mélange explosif et en fonction de ses caractéristiques ; si le mélange est détonant, il se produit une véritable onde de choc et les lésions traumatiques sont généralement au premier plan.

Dans le cas particulier du « coup de grisou », par exemple, les lésions de brûlures sont habituellement prédominantes ; inversement dans le cas particulier de l'explosion anesthésique, ce sont en général les lésions de ruptures de l'arbre respiratoire qui prédominent chez l'opéré.

I. — Mécanismes particuliers des lésions réalisées chez l'opéré par l'explosion de mélanges anesthésiques.

Les brusques écarts de pression produits par l'explosion des gaz anesthésiques, peuvent dépasser une dizaine d'atmosphères : on comprend dès lors qu'un tel phénomène puisse provoquer des ruptures des voies respiratoires lorsqu'il se transmet jusqu'à elles.

Par contre, nous avons déjà vu que les quantités de chaleur dégagées sont relativement faibles dans ce cas. Des températures très élevées sont certes obtenues (plus de 2.000°) mais pendant un temps extrêmement bref. De ce fait, il résulte que les brûlures provoquées directement par les mélanges gazeux explosifs sont habituellement assez superficielles (pour élever de quelque 60° la température d'un gramme de tissus il faudrait déjà environ 60 calories).

De plus, par rapport au cas général d'un organisme soumis à l'explosion d'un mélange gazeux, il faut tenir compte, vis-à-vis de l'opéré, des particularités suivantes :

1° Le mélange explosif reste habituellement localisé à une région voisine du visage du malade. Les lésions siègeront donc souvent à ce niveau, et les voies respiratoires qui contiennent, dans la très grande majorité des cas, une certaine proportion de gaz inflammables au moment de l'explosion, seront, de ce fait, particulièrement menacées puisque le phénomène s'y propagera directement si le mélange qu'elles contiennent est lui aussi en proportions explosives; ce qui est heureusement loin d'être toujours le cas. En effet, nous avons vu, en étudiant les caractéristiques des mélanges gazeux explosifs que, lorsque l'explosion se produit dans un récipient clos, le rôle des parois peut devenir appréciable : dans un tube cylindrique (en l'occurrence les voies respiratoires) les limites d'inflammabilité se resserrent au fur et à mesure que le diamètre décroît; au-dessous d'un certain diamètre (variable avec la nature des parois) la propagation cesse complètement. Donc, les voies respiratoires, même contenant du gaz explosif, ne seront pas toujours propices à la propagation du phénomène.

Remarquons aussi, à ce propos, que l'onde explosive étant stoppée lorsque le diamètre des conduits devient très faible, on peut prévoir que les bronchioles ne seront que rarement atteintes et les alvéoles certainement jamais. Cette règle se vérifie cliniquement puisque les lésions rencontrées siègent avant tout sur la trachée et les bronches souches.

2° Le plus souvent, au moment de l'explosion, les voies respiratoires du patient sont en communication avec une enceinte close constituant le circuit anesthésique.

Cette particularité joue un rôle capital en pratique. En effet, deux cas peuvent se produire :

— soit que l'explosion se produise à l'extérieur de cette enceinte et ne puisse pas se propager à l'intérieur : dans ce cas les voies respiratoires sont en fait efficacement protégées par le circuit;

— soit que l'explosion se produise ou se propage à l'intérieur même du circuit et, dans ce cas, au contraire, l'arbre trachéo-bronchique et les poumons sont menacés non seulement par la simple propagation du phénomène, mais aussi et surtout par le fait *que la détonation ou la déflagration se produise dans une enceinte close* constituée par la réunion du circuit et des voies respiratoires du patient.

Ceci rend bien compte de ce qu'on observe en pratique :

Lorsque le circuit était en place au moment de l'accident, la force d'expansion de l'explosion provoque des ruptures de l'enceinte respiratoire, soit au niveau du circuit, soit au niveau de l'arbre trachéo-bronchique.

Au contraire, lorsque pour une raison quelconque l'explosion se produit juste au moment où le circuit vient d'être interrompu en un de ses points, les lésions des voies respiratoires sont souvent bénignes ou même inexistantes.

Cette particularité semble bien illustrée par l'observation V que nous rapportons plus loin dans notre étude de cas concrets.

II. Caractères des lésions rencontrées chez l'opéré. **Considérations relatives au traitement et au pronostic de ces lésions lorsqu'elles sont curables.**

Etant donné la variété des circonstances des accidents, il n'est pas possible, dans cette brève étude, d'analyser toutes les lésions qu'on peut rencontrer au cours de telles explosions.

Rappelons simplement que les facteurs de variations seront essentiellement :

— le siège et le degré de violence de l'explosion (en rapport avec les proportions et les quantités du mélange);

— la propagation ou non du phénomène aux voies respiratoires;

— le fait que le malade respire à l'air libre ou à l'intérieur d'un circuit anesthésique fermé (même relativement : la méthode dite du circuit « semi-clos » entre dans cette catégorie vis-à-vis des phénomènes d'explosion);

— la présence d'une sonde endo-trachéale, d'une sonde pharyngée ou d'un masque facial.

Nous pensons cependant que les explosions de moyenne violence se produisant à l'intérieur d'un circuit relativement fermé et communiquant largement avec les voies respiratoires, peuvent fournir une sorte de « type de description » parce que, dans ces circonstances (qui sont les plus fréquemment en cause dans les accidents graves) les lésions présentent une certaine analogie et sont parfois curables.

La meilleure description que nous ayons trouvée de ce type de lésions dans de telles circonstances, est celle rapportée à l'Académie de Chirurgie, en 1957, à propos d'un cas d'explosion au cyclopropane. Ce cas nous paraît aussi particulièrement intéressant, parce qu'il a permis d'instaurer un traitement de ces graves lésions et d'en obtenir ainsi la guérison.

Pour ces raisons, nous en rappellerons brièvement ici les principaux points :

— L'explosion du mélange d'oxygène et de cyclopropane déclenchée par une étincelle électrostatique s'est produite à l'intérieur d'un circuit anesthésique fermé sur un malade intubé.

— Cette explosion n'a pas été extérieurement d'une violence extrême puisqu'elle a simplement « chassé le ballon de son raccord métallique ».

— Après l'accident, l'intervention peut se poursuivre, l'aspect du malade restant bon, mais l'anesthésiste doit procéder à des aspirations trachéales répétées, ramenant à chaque fois quelques centimètres cubes de sang.

— Au décours de l'intervention, le réveil est lent, on note une cyanose récidivante. La détubation doit être retardée et, lorsqu'elle est pratiquée, on doit procéder à des oxygénations et à des aspirations répétées.

Peu après, on note l'apparition d'une sonorité de l'hémithorax droit.

— Une heure après la détubation: il existe un pneumothorax droit, le poumon gauche est le siège de multiples opacités floues. On observe l'apparition d'un discret emphyème sous-claviculaire gauche.

— Une demi-heure plus tard, un drain de Monaldi est placé dans le deuxième espace intercostal droit et branché sur une aspiration douce. Une amélioration clinique progressive se produit, la cyanose diminue d'intensité. Il n'existe pas de douleur thoracique importante.

— Cinq heures après la mise en aspiration, l'amélioration clinique persiste, mais la pression intra-thoracique tend toujours à devenir positive.

On pratique alors une *bronchoscopie*: elle montre à la face postérieure d'une trachée rouge et hémorragique, une déchissance large de près d'un centimètre, aux bords nets, en dehors de quelques fragments effilochés. Cette déchissance se prolonge dans la bronche souche droite où ses bords moins écartés sont cependant nettement séparés à l'inspiration, elle se termine au niveau de la bronche lobaire inférieure. A gauche existe une deuxième déchirure moins large, siégeant aussi à la face postérieure de la bronche et se terminant au niveau de la lobaire inférieure.

— Douze heures environ après l'accident on décide une réintervention:

L'anesthésie, particulièrement délicate, est réalisée de la manière suivante: induction nesdonal; intubation avec une sonde de Carlens dont on ne gonfle pas les ballonnets, puis cyclopropane et oxygène, pas de curare. L'état du malade est inquiétant et l'hématose précaire. Devant le caractère limité des lésions et l'absence de pneumothorax à gauche on ne tente pas de réparation de ce côté. La thoracotomie droite découvre une fissure de la plèvre médiastinale au-dessous de la crosse de l'azygos. La suture des lésions bronchiques et trachéales peut être pratiquée malgré les conditions difficiles et la friabilité des parois, et l'étanchéité peut être obtenue: dès ce moment, l'état du

malade s'améliore d'une façon spectaculaire. L'intervention est complétée par une trachéotomie.

A la suite de ce traitement chirurgical, la guérison est obtenue et une bronchoscopie pratiquée deux mois plus tard ne montre aucune sténose de l'arbre trachéo-bronchique.

Cette observation nous paraît, à elle seule, bien mettre en évidence les principaux éléments du diagnostic et du traitement des lésions, lorsque ces problèmes se posent. Nous n'ajouterons qu'un seul commentaire :

Lorsqu'existent des lésions de ce type, elles peuvent souvent rester masquées comme ici, au cours de l'intervention, par la présence de la sonde endo-trachéale et leurs graves conséquences risquent d'apparaître brusquement à la détubation. Il est donc de première importance de tenir compte de ce fait lorsqu'une explosion se produit sur un malade préalablement intubé; d'autant plus que si, lorsque la sonde est enlevée, une réintubation s'avère nécessaire, elle peut être impossible à réaliser et la trachéotomie ne sera pas toujours efficace, elle non plus, comme nous le verrons plus loin dans le chapitre relatif à l'étude de cas concrets.

Au total, les lésions traumatiques et éventuellement les brûlures présentées par un opéré victime d'une explosion anesthésique peuvent revêtir des aspects très variés selon les circonstances, mais en fait, les lésions qui mettent en jeu la vie du malade sont pratiquement toujours les ruptures plus ou moins complètes des grosses bronches et de la trachée et leur éventuelle propagation aux régions adjacentes; ces lésions étant la conséquence directe de l'expansion de l'onde explosive à l'intérieur des voies respiratoires.

III. Lésions éventuellement présentées par les opérateurs ou l'anesthésiste.

Dans la très grande majorité des cas, ces lésions sont relativement bénignes, les conditions ne permettant pas à l'explosion d'atteindre les voies respiratoires. Il s'agit de traumatismes et de brûlures, en général superficiels, provoqués soit directement par

l'onde de choc et le contact des gaz enflammés, soit surtout par deux conséquences éventuelles de l'explosion qui sont :

— La projection de débris des parties du circuit ayant éclaté (en particulier dans le cas d'une anesthésie à l'éther, la projection d'éclats de verre provenant de l'explosion du contenu du bac à éther lorsque le phénomène a pu se propager jusqu'à lui) ;

— Le déclenchement d'un début d'incendie par inflammation des champs ou, dans le cas d'une anesthésie à l'éther, projection de ce corps enflammé à partir de sa réserve liquide.

CHAPITRE II

EXPOSÉ ET DISCUSSION DE CINQ CAS CONCRETS D'EXPLOSIONS A LA LUMIÈRE DES DONNÉES GÉNÉRALES DU PROBLÈME

OBSERVATION I

1° *Exposé des faits*

Cholécystectomie chez une femme obèse.

— Induction au penthiobarbital.

— Curarisation.

— Tentative d'intubation qui se solde par un échec.

— Anesthésie par protoxyde d'azote-éther-oxygène.

— Nouvelle tentative d'intubation se soldant par un nouvel échec.

L'anesthésie est poursuivie au masque en circuit semi-clos, avec le même mélange.

— Incision de la peau. Coagulation au bistouri électrique.

— Dès le premier essai de coagulation, explosion du ballon et apparition de flammes sortant des tuyaux de l'appareil.

— Les flammes sont rapidement étouffées, l'intervention peut se poursuivre.

— Les suites sont simples, mais on remarque de petites suffusions buccales et pharyngées qui guérissent spontanément.

2° Discussion

Dans ce cas :

— Il existe une source d'allumage évidente : le bistouri électrique.

— Les tentatives d'intubation, l'usage du circuit semi-clos, ont permis au mélange explosif de se répandre largement dans l'atmosphère.

De telles conditions sont plus que suffisantes pour qu'il se produise une explosion pouvant parfaitement se propager au ballon par l'orifice de la valve expiratoire d'où les gaz explosifs font issue à l'extérieur.

Toutefois, le peu d'importance des dégâts laisse supposer que les proportions du mélange étaient heureusement dans la zone comprise entre la limite de détonation et la limite de déflagration.

Remarquons enfin qu'il n'est pas possible, à priori, de prouver que la source d'allumage était le bistouri électrique, puisqu'on n'a pas pu écarter formellement l'éventualité d'une mise à feu par étincelle électro-statique.

OBSERVATION II

1° Exposé des faits

Ablation d'une tumeur bénigne de la région pectorale chez un homme.

— Induction au penthiobarbital intra-veineux.

— Anesthésie : protoxyde d'azote-éther-oxygène en circuit fermé sans intubation, par anesthésiste non médecin.

— Un quart d'heure après le début de l'intervention et dès l'utilisation du bistouri électrique, explosion violente avec destruction quasi complète de tout l'appareillage d'anesthésie et projection d'éther par éclatement du réservoir entraînant un début d'incendie.

— Après l'accident, l'opéré respire faiblement. Sa cavité buccale est encombrée de mucosités sanglantes. Une intubation s'avère impossible et une trachéotomie pratiquée d'urgence est inefficace puisque le décès se produit sur la table d'opération.

— L'anesthésiste et l'assistant du chirurgien sont légèrement brûlés et commotionnés.

— L'examen de l'appareil d'anesthésie après l'accident montre les faits suivants :

Il s'agit d'un appareil du type Universel du Dr Dubau. Son état de délabrement très marqué témoigne de la violence de l'explosion. Il est absolument impossible de vérifier l'existence éventuelle d'une fuite sur le circuit fermé.

— Le bac à éther a éclaté et la mèche d'imbibition est partiellement brûlée.

— Le bac à chaux sodée a également éclaté.

— Le système de fixation des deux bacs est brisé.

— Le ballon de caoutchouc est réduit à l'état de lambeaux.

— Les soupapes inspiratoires et expiratoires sont totalement détruites.

Le problème de l'élimination des charges d'électricité statique est résolu sur cet appareil :

— Par une chaîne métallique de mise à la terre;

— Par l'utilisation de tuyaux annelés en caoutchouc antistatique, mais il faut noter que le ballon et le bourrelet pneumatique du masque sont en caoutchouc ordinaire non conducteur.

Avant l'accident, l'appareil d'anesthésie, d'ailleurs d'un modèle très classique, largement utilisé en France et donnant toute satisfaction, était manifestement en bon état.

2° Discussion

a) L'appareil bénéficiait d'une protection relative contre la formation d'étincelles électrostatiques, sans toutefois que cette protection en supprime complètement l'éventualité;

b) En utilisant le circuit fermé, on a cherché une protection contre la diffusion du mélange explosif : cette protection ne pouvait être qu'insuffisante, d'autant plus que le malade n'était pas intubé; nous avons souligné cette insuffisance au chapitre des généralités et en avons donné les raisons;

c) La violence de l'explosion et les lésions du malade prouvent que la mise à feu a intéressé un mélange en proportions déto-

nantes contenu dans le circuit anesthésique lui-même. Cette mise à feu a pu être :

— soit *primitive*, à partir d'une source d'allumage (électro-statique contenue à l'intérieur même du circuit : cette éventualité est la moins probable;

— soit *secondaire* à la propagation par l'intermédiaire d'une fuite accidentelle, de la combustion explosive des gaz répandus et allumés à l'extérieur du circuit : cette éventualité est la plus probable;

d) Il existait une source d'allumage évidente à l'extérieur du circuit: le bistouri électrique.

A ce propos, nous pouvons rappeler que l'usage du bistouri électrique peut provoquer l'apparition d'étincelles dangereuses non seulement à l'extrémité de l'électrode, mais parfois aussi en d'autres points de l'appareillage ou même de la table d'opération.

Compte tenu de ces quatre points, les probabilités d'un rôle déterminant joué par le bistouri électrique sont considérablement plus élevées que toutes les autres. Toutefois, une origine électro-statique ne peut être formellement éliminée, puisqu'il n'est pas possible de situer le point de départ de l'explosion.

Notons enfin que l'explosion s'est propagée jusqu'au bac à éther qui a lui-même éclaté.

Dans les circonstances que nous venons de rapporter et en l'absence de médecin anesthésiste, le mélange éther-oxygène était peut-être celui qui offrait le moins de risques, même en tenant compte des dangers d'explosion dus à l'électricité statique, d'autant plus que des précautions non négligeables avaient été prises contre ceux-ci. Pour trancher la question, il faudrait savoir quelles étaient les connaissances et l'expérience de l'auxiliaire médicale chargée de l'anesthésie et les moyens mis à sa disposition.

Par contre, les risques supplémentaires entraînés dans de telles conditions par l'usage du bistouri électrique étaient-ils compensés par des avantages au moins équivalents au point de vue sécurité ? Il appartiendrait aux chirurgiens de trancher la question, mais cette position paraît difficile à soutenir.

Que l'explosion ait été ou non déclenchée par le bistouri électrique, il n'en est pas moins certain que son emploi augmentait

les probabilités d'explosion dans des proportions telles qu'avant de commencer on devait nécessairement envisager tous les moyens permettant de se passer :

— soit du bistouri électrique,

— soit de l'anesthésie à l'éther.

Nous verrons, au chapitre des répercussions médico-légales, certaines règles générales qui peuvent se déduire de tels faits.

OBSERVATION III

1° *Exposé des faits*

Pneumonectomie.

— Anesthésie : penthiobarbital-curare-protoxyde d'azote-oxygène.

— Intubation.

— Après ablation du poumon, tentative de coagulation intrathoracique.

— Immédiatement, explosion avec éclatement du bac à éther resté en place et à demi rempli sur l'appareil d'anesthésie débitant l'oxygène et le protoxyde d'azote.

— L'anesthésiste est contusionné et ses vêtements commencent à brûler. L'explosion est entendue dans tout le service chirurgical. Elle est suivie d'un début d'incendie qui détruit entièrement l'appareil.

Le malade ne présente aucune lésion. Les suites sont simples.

2° *Discussion*

Ce cas illustre ce que nous avons dit au chapitre des généralités sur les dangers des fuites au niveau des bacs à éther après utilisation et sur la stagnation de nappes d'éther à forte concentration dans les pièces non ventilées.

Deux éventualités peuvent être discutées :

— Une fuite du bac à éther à l'intérieur du circuit a pu permettre à des vapeurs d'éther d'être entraînées par le courant gazeux d'oxygène et de protoxyde.

— Du fait d'une fuite à l'extérieur du circuit ou à la suite d'une anesthésie antérieure à l'éther, une nappe de vapeurs explosives a pu venir au contact du bistouri électrique indépendamment du circuit.

C'est l'éventualité la plus probable parce que l'absence de lésions du malade et les contusions de l'anesthésiste tendent à prouver que l'explosion s'est produite à l'extérieur du circuit et ne s'est pas propagée à l'intérieur de celui-ci, le début d'incendie étant le fait d'une combustion secondaire non explosive.

En ce qui concerne la source d'allumage, comme dans les cas précédents, il peut s'agir soit d'une étincelle électro-statique, soit d'une étincelle produite par le bistouri électrique, mais il n'est pas nécessaire de faire de savants calculs de probabilité pour se persuader que cette dernière possibilité est presque sûrement la cause de l'explosion.

OBSERVATION IV

1° Exposé des faits

Affection de la face chez une jeune fille de 15 ans.

— Anesthésie : penthiobarbital. Intubation.

— L'intervention a lieu dans une petite salle de remplacement, la salle d'opération principale étant en réparation et dans cette petite salle on a pratiqué quatre anesthésies à l'éther antérieurement. Par ailleurs, l'appareil d'anesthésie a encore son bac à éther à moitié plein.

— Au moment de l'électrocoagulation au bistouri électrique, explosion du bac à éther avec projection de l'éther qui enflamme les champs, brûle la malade aux chevilles, aux jambes, au visage et l'anesthésiste au bras et au visage. L'incendie s'arrête plus ou moins spontanément. L'anesthésiste doit être évacué et l'opérée prise en mains par l'anesthésiste adjoint.

— Le réveil se fait sans incidents grâce à l'intubation trachéale en place au moment de l'explosion, mais on constate dans les suites une rupture de la trachée et des suffusions bronchiques qui guérissent simplement.

2° Discussion

Ce cas est très analogue au précédent : là aussi la persistance de nappes de mélange explosif dans la salle peut être fortement suspectée.

Cependant, ici, les lésions présentées par l'opérée prouvent que l'explosion s'est propagée à l'intérieur du circuit et que, par conséquent, il existait certainement une communication anormale entre le bac à éther et le circuit lui-même, vraisemblablement par l'intermédiaire d'un robinet non étanche : nous avons examiné la possibilité de tels faits dans le chapitre des données générales.

OBSERVATION V

1° Exposé des faits

Appendicectomie chez un enfant de 6 ans.

— Anesthésie : protoxyde d'azote-éther-oxygène.

— Avant même le début de l'intervention, l'anesthésiste perçoit un grésillement à l'intérieur du ballon de caoutchouc qu'elle manipule. Pour en rechercher l'origine, elle débranche le ballon du raccord qui le relie au masque; à ce moment une flamme jaillit et le feu se propage au bac à éther qui explose violemment.

— L'incendie qui se déclare est rapidement arrêté sous des couvertures.

— L'anesthésiste est commotionnée.

— Le jeune malade n'est pas blessé.

2° Discussion

Ce cas nous paraît particulièrement intéressant :

— Il met en évidence une source d'allumage par électricité statique.

— Il montre que cette source peut parfaitement se développer à l'intérieur même de l'appareil d'anesthésie et plus précisément, ici, à l'intérieur du ballon qu'on manipule et ceci en quelques minutes (l'intervention n'était même pas commencée).

— Il montre enfin que lorsque l'explosion se produit à un moment où le circuit anesthésique est interrompu on risque peu

d'avoir des lésions graves, c'est-à-dire en fait des lésions de brûlures ou de ruptures de l'arbre respiratoire chez l'opéré.

Ceci confirme nettement le fait que le danger vital est avant tout représenté par l'existence d'une déflagration ou détonation se produisant dans une enceinte close en communication directe avec les voies respiratoires du patient.

Au moment de l'accident, le circuit était interrompu depuis quelques secondes seulement, les voies respiratoires du malade contenaient donc certainement un mélange riche en éther et, malgré les flammes toutes proches, l'explosion ne s'est pas propagée dans cette région, ce qui tend bien à confirmer qu'une telle propagation est relativement peu probable lorsque le malade respire à l'air libre.

En complément à cette étude de cas concrets, il nous paraît intéressant d'exposer brièvement, ici, les circonstances d'une explosion qui fit l'objet d'une communication à l'Académie de Chirurgie, en 1957, à Paris. Nous choisissons ce cas parce qu'il est dû à l'emploi du cyclopropane alors que tous ceux que nous avons décrits ne concernent que l'éther et parce qu'il démontre assez bien les conditions de formation de l'électricité statique :

1° Exposé des faits

Ostéosynthèse pour fracture cervico-trôchanterienne.

— Anesthésie : Nesdonal - curare - cyclopropane - oxygène.
Intubation - circuit fermé - respiration assistée.

— A la fin de la première heure, explosion dans le circuit : le ballon est chassé de son raccord métallique.

— L'aspect du malade reste bon, cependant il apparaît un encombrement qui nécessite des aspirations répétées, ramenant à chaque fois un peu de sang.

— Au décours de l'intervention, alors que l'état du malade s'aggrave progressivement, on met en évidence de larges fissurations trachéales et bronchiques, associées à des lésions pleurales. Le traitement chirurgical de la principale déchirure trachéo-bronchique est entrepris et la guérison peut être obtenue.

Les circonstances matérielles pouvant être en rapport avec l'accident sont les suivantes :

— Tous les appareils électriques de la salle d'opération avaient été débranchés dès la mise en circuit du cyclopropane.

— L'appareil d'anesthésie était muni de tuyaux de caoutchouc ordinaire non conducteur.

— L'anesthésiste, portant des sous-vêtements de nylon, était assise sur le bord d'une table de bois, ses pieds ne touchant pas le sol.

— L'appareil d'anesthésie et la table d'opération étaient reliés au sol par des éléments conducteurs.

— L'hygromètre indiquait une saturation à 55-60 %, ce qui correspond à une atmosphère sèche.

2° Discussion

Dans ce cas on peut écarter l'éventualité d'une source d'allumage due à l'équipement électrique ou à une flamme.

Il s'agit donc manifestement d'une mise à feu par étincelle électrostatique.

Bien qu'il ne soit pas possible de dire à quel endroit précis s'est produit l'étincelle, on peut cependant remarquer que l'anesthésiste, isolée du sol, vêtue de tissu isolant et manipulant un ballon lui-même non conducteur, entretenait des conditions idéales pour la production de fortes charges d'électricité statique, d'autant plus que l'atmosphère était particulièrement sèche. Il ne faut donc sans doute pas chercher plus loin l'origine de l'étincelle responsable de l'accident.

Enfin, étant donné l'importance des lésions observées, la grande diffusibilité du cyclopropane et l'emploi du circuit fermé avec intubation, il est probable que cette étincelle électrostatique s'est produite à l'intérieur même du circuit.

CHAPITRE III

ÉVALUATION DE LA FRÉQUENCE ET DE LA GRAVITÉ DES ACCIDENTS D'EXPLOSION EN SALLE D'OPÉRATION RENCONTRÉS EN PRATIQUE : DONNÉES STATISTIQUES

Il nous paraît nécessaire de chercher à évaluer quelles sont, en pratique, la fréquence et la gravité des accidents d'explosion en anesthésie parce que, aussi bien que les considérations théoriques, cette évaluation permet de se faire une opinion sur l'importance réelle du danger.

Malheureusement, les données statistiques valables sur ce sujet sont rares et le plus souvent fragmentaires; en particulier nous n'avons pas connaissance de documents importants de ce genre en ce qui concerne la France. D'ailleurs, le Ministère de la Santé français ne possède aucun moyen lui permettant d'être systématiquement informé lorsque de tels accidents se produisent.

Force nous est donc de recourir aux statistiques étrangères pour rechercher quelques chiffres à partir desquels nous pensons pouvoir évaluer au moins grossièrement, par analogie, l'importance des accidents d'explosion dans la pratique anesthésique et chirurgicale française.

Dans ce but, nous allons tout d'abord exposer un certain nombre de résultats issus directement des principaux documents dont nous avons pu avoir connaissance, puis nous essaierons de faire

la critique de ces résultats et enfin nous tenterons de préciser, par quelques calculs de proportions, les risques statistiques d'accidents par explosion.

Il semble que seuls les pays anglo-saxons aient publié des chiffres sur la fréquence des explosions et même, les Américains, pourtant habituellement férus de statistiques, n'ont, semble-t-il, donné jusqu'ici que des études fragmentaires à ce sujet.

La seule étude systématique officielle de ces accidents dont nous ayons eu connaissance a été réalisée par une Commission britannique d'étude sur les explosions anesthésiques et présentée en 1956 dans un rapport du Ministère de la Santé anglais. Elle donne les résultats suivants pour la période s'écoulant entre 1948 et 1955 :

— Sur 2.750.000 anesthésies pratiquées en Grande-Bretagne chaque année, pendant cette période, on estime que un tiers, soit environ 990.000, comportait l'administration d'agents inflammables.

— Le chiffre d'explosions le plus élevé depuis 1948 était de 9 par an, soit une explosion pour environ 100.000 anesthésies aux agents explosifs dans l'année la plus défavorable.

— Enfin, au total, sur 6.400.000 anesthésies *avec gaz explosifs*, effectuées en 7 ans, 36 accidents mortels ont été signalés.

12 de ces accidents étaient consécutifs à l'emploi du cyclopropane, 21 à l'emploi de l'éther, 3 à l'emploi d'un mélange de cyclopropane et d'éther.

En ce qui concerne les différentes causes d'inflammation du mélange : il se serait agi de l'électricité statique dans 22 de ces 36 cas, d'un appareil à diathermie dans 5 cas, d'une étincelle électrique d'origine dynamique dans 3 cas, d'une défectuosité de l'appareil d'anesthésie dans 2 cas, enfin 4 cas sont restés indéterminés.

Par ailleurs, la teneur en humidité de l'air ambiant a pu être évaluée, au moins grossièrement, dans 14 des cas où l'électricité statique avait été la cause de la mise à feu. L'humidité relative était comprise entre 50 et 60 % dans

4 cas et entre 20 et 30 % (ce qui constitue des valeurs très basses) dans les 10 autres cas.

Une autre statistique anglo-saxonne nous paraît présenter quelque intérêt, bien que datant de 1939 : il s'agit de celle de Woodbridge qui, sur 2.250.000 anesthésies, donnait les chiffres suivants :

	Nombre d'anesthésies	Explo- sions	Explosions sur 100.000	Morts	Blessés
Ether	1.795.342	31	$1,73 \pm 0,31$	1	5
Ethylène	326.798	8	$2,44 \pm 0,86$	0	2
Cyclopropane .	259.785	10	$3,25 \pm 1,22$	1	0

Notons que d'après ces résultats il semblerait que le risque d'explosions soit environ deux fois plus élevé avec le cyclopropane qu'avec l'éther.

Beecher et Bishop, à la suite de leurs études, estiment la mortalité opératoire globale à 1 pour 1.000, la mortalité anesthésique proprement dite à 1 pour 2.680 et la mortalité par explosion à 1 pour 1.000.000 (dans ce dernier chiffre sont évidemment comprises les anesthésies aux agents inflammables et non inflammables).

Enfin, G. J. Thomas considère que sur les 12 millions d'anesthésies pratiquées tous les ans aux Etats-Unis, on enregistre environ 80 accidents d'explosion en salle d'opération, soit moins d'une explosion pour 150.000 anesthésies, ces accidents étant dus à l'électricité statique dans 60 % des cas.

À propos de ces différents résultats nous pensons devoir faire les remarques suivantes :

1° Les nombres d'accidents mentionnés dans ces statistiques ne représentent qu'un minimum. D'ailleurs, dans le rapport du Ministère de la Santé dont nous avons parlé, on ne manque pas d'ajouter que les cas d'explosions analysés sont ceux dont on a eu connaissance, ce qui n'exclut pas la possibilité d'accidents non déclarés.

Il est à peu près certain que le nombre d'accidents de ce genre est en réalité légèrement supérieur aux valeurs mentionnées;

2° La preuve formelle de l'origine électrostatique d'une explosion est parfois impossible à obtenir ou son mécanisme difficile à mettre en évidence. Par suite, l'affirmation d'une telle origine est souvent motivée par le seul fait qu'on n'ait pas retrouvé d'autres causes d'explosion. Dans ces conditions, il est probable qu'un certain nombre d'explosions dues par exemple à une source d'étincelles d'électricité dynamique ayant échappé à l'examen ont pu être attribuées à tort à l'électricité statique. Les pourcentages donnés à ce propos ne nous paraissent donc pouvoir être retenus qu'avec quelques réserves;

3° Les explosions analysées dans le rapport du Ministère de la Santé anglais sont uniquement celles qui ont provoqué des accidents mortels.

D'autre part, les proportions d'accidents dus à l'emploi des différents agents inflammables n'ont que peu d'intérêt si l'on ne connaît pas le nombre total d'anesthésies pratiquées dans le même temps avec chacun de ces agents;

4° La statistique de Woodbridge est déjà ancienne, ce qui lui fait perdre de son intérêt : depuis 1939 les conditions de la pratique anesthésique et chirurgicale se sont modifiées.

Compte tenu de ces différents résultats, nous pouvons cependant aboutir aux conclusions suivantes :

1° En Grande-Bretagne, il y a seulement quelques années :

— Le rapport du nombre *total* d'accidents d'explosion au nombre *total* d'anesthésies était de :

1/340.000

--- Le rapport du nombre d'accidents *mortels* d'explosion au nombre *total* d'anesthésies était de :

1/540.000

- Le rapport du nombre *total* d'accidents d'explosion au nombre d'anesthésies aux agents inflammables était de :

1/110.000

— Le rapport du nombre d'accidents *mortels* d'explosion au nombre d'anesthésies aux agents inflammables était de :

1/178.000

Ces chiffres tendent d'ailleurs bien à prouver que la majorité des explosions en salle d'opération sont mortelles pour l'opéré;

2° Si l'on se réfère à l'estimation de Beecher et Bishop sur la mortalité anesthésique proprement dite, on peut déduire de ces chiffres qu'en Grande-Bretagne, sur 200 décès imputables à l'anesthésie, il y en a en moyenne au moins un qui est la conséquence d'une explosion.

Ceci nous paraît prouver amplement que le danger d'explosion mérite d'être pris en considération lorsqu'on évalue l'importance globale du risque anesthésique;

3° L'éther et le cyclopropane sont à l'origine de la quasi-totalité des explosions en anesthésie et il semble qu'en pratique le cyclopropane soit proportionnellement responsable de beaucoup plus d'accidents que l'éther;

4° L'électricité statique semble être la cause de la majorité des accidents dans les pays anglo-saxons, mais :

— Les chiffres signalés sont peut-être légèrement supérieurs à la réalité pour la raison déjà mentionnée.

— Les facteurs climatiques jouent un certain rôle dans le développement de l'électricité statique. Certaines régions des Etats-Unis y sont particulièrement propices du fait de la sécheresse de l'atmosphère (nous avons vu que la majorité des accidents dus à l'électricité statique se produisaient en atmosphère très sèche).

On estime parfois qu'en France les accidents d'explosion sont beaucoup moins fréquents qu'en Grande-Bretagne et ne dépassent pas un cas par million d'anesthésies.

Cette opinion nous paraît inexacte, parce que fondée sur l'examen de statistiques fragmentaires ou imparfaites.

Certes, les conditions d'exercice de l'anesthésiologie sont légèrement différentes en France et en Grande-Bretagne, l'usage du cyclopropane est plus répandu dans ce dernier pays, les conditions climatiques ne sont pas non plus tout à fait les mêmes. Cependant nous pensons être en droit d'émettre l'hypothèse que les résultats exposés plus haut pour la Grande-Bretagne sont grossièrement applicables à la France et donnent un ordre de grandeur valable du danger d'explosion dans ce dernier pays.

Dans ces conditions, il nous faut admettre que les accidents d'explosion en salle d'opération font au moins 4 à 5 morts par an en France.

Notons d'ailleurs que même si l'on retient le chiffre trop optimiste, à notre avis, d'un cas d'explosion par million d'anesthésies, on doit encore prévoir deux à trois accidents mortels d'explosion par an dans notre pays.

CHAPITRE IV

PROBLÈMES MÉDICO-LÉGAUX POSÉS PAR LES EXPLOSIONS DUES A L'EMPLOI DES ANESTHÉSQUES INFLAMMABLES EN SALLE D'OPÉRATION

L'éventualité d'un accident par explosion d'agents anesthésiques en salle d'opération pose un problème moral et un problème légal. En effet, comme nous l'avons fait remarquer avant d'aborder cette étude, un tel risque d'explosion engage d'une manière particulièrement flagrante, la responsabilité de ceux qui le prennent et nous avons déjà donné les raisons de ce fait.

Bien que cette éventualité soit relativement rare, il nous paraît donc indispensable, tant pour l'Individu que pour la Société, de chercher à préciser :

— D'une part, quelles sont, dans les différentes circonstances, les personnes qui assument normalement cette responsabilité, en totalité ou en partie.

— D'autre part, quelles sont, pour chacune de ces personnes, la nature et l'importance de cette responsabilité.

Dans certaines circonstances il peut être bien difficile d'arriver à ce résultat d'une manière indiscutable, aussi nous nous bornerons surtout, dans cette brève étude, à essayer d'exposer le plus clairement possible les principaux éléments du problème.

La responsabilité de l'emploi des agents explosifs dans le but de réaliser une anesthésie générale ne constitue qu'un cas parti-

culier de la responsabilité globale inhérente à l'accomplissement de tout Acte Anesthésiologique.

Pour tenter d'examiner logiquement de quelle façon il est possible de répondre aux deux questions que nous avons posées plus haut, il nous faut donc, à l'aide de données jurisprudentielles et législatives :

D'abord essayer de définir dans ses grandes lignes la manière dont on conçoit, tout au moins actuellement, et dans notre pays, le problème général de la responsabilité dans l'acte anesthésiologique.

Ensuite, envisager d'une manière plus concrète comment on peut appliquer cette conception générale au cas particulier du risque entraîné par l'emploi des agents explosifs.

Enfin, étudier les problèmes spéciaux que ce cas particulier pourra faire naître.

I. — CONCEPTION ACTUELLE DE LA RESPONSABILITÉ DANS L'ACTE ANESTHESIOLOGIQUE

Nous ne pouvons entreprendre, dans le cadre de ce travail, une étude complète et approfondie d'un problème juridique aussi ardu, tout au moins dans certaines des circonstances où il peut se poser. Laissant aux spécialistes de ces questions les soins d'une telle étude, nous nous limiterons simplement à essayer de dégager de l'énoncé de quelques principes admis dans ce domaine, les règles générales que nous aurons à appliquer plus loin, au cas particulier qui nous intéresse.

L'acte anesthésiologique s'inscrit normalement dans le contexte d'une intervention chirurgicale.

On sait qu'en pratique, anesthésie et intervention peuvent être étroitement intriquées quant à leurs conséquences sur le malade et quant aux personnes qui les mettent en jeu. Malgré cela :

La responsabilité de ces deux actes ne peut jamais être assumée globalement par un ensemble de personnes.

En effet, sauf très rares exceptions, l'accomplissement de l'ensemble des actes permettant de mener à bien cette intervention n'est pas le fait d'un individu isolé, mais le fruit d'une collabo-

ration entre les membres de « l'équipe chirurgicale » qui comprend un chirurgien, souvent un ou plusieurs médecins et des aides qualifiés; chacun participant à l'œuvre thérapeutique en fonction de ses titres ou du poste dont il est titulaire et qui lui confèrent son statut juridique propre.

Par suite, au sein de « l'équipe chirurgicale » que nous venons ainsi de définir et qui n'est d'ailleurs pas en soi une entité légale, mais seulement une formation de fait, la jurisprudence n'admet pas le principe d'une responsabilité globale atteignant tous les membres de cette équipe en cas de faute professionnelle.

Même dans le cas où les médecins d'une telle équipe se constitueraient juridiquement en société civile, celle-ci ne saurait être tenue pour responsable d'une prescription ou d'une intervention quelconque, ni répondre des fautes professionnelles commises par ses associés.

Cette conception garantit donc l'indépendance légale des membres de l'équipe dans l'exercice de leur profession, mais les oblige à s'assurer personnellement en vue de la réparation de leurs fautes éventuelles.

Enfin, dans cette équipe, la responsabilité ne peut être assumée par personne interposée.

Cependant, dans le cas particulier de la pratique hospitalière publique, les responsabilités civiles sont, en règle générale, imputées à la personne morale gestionnaire de l'établissement, les responsabilités pénales étant seules assumées directement par le praticien. Remarquons qu'il y a toutefois possibilité de recours de la part de l'établissement contre le praticien, pour faute de service avérée. Ce dernier n'est donc pas, en fait, déchargé de toute responsabilité civile.

De cette première constatation, il découle qu'au sein de l'équipe chirurgicale, la responsabilité de l'acte anesthésiologique incombe en premier lieu et personnellement à celui qui l'a ordonné implicitement ou explicitement et qui est habilité pour le faire, qu'il ait ou non pris directement part à son exécution.

Or, celui-ci ne peut être qu'un médecin.

En effet, l'arrêté du 6 janvier 1962, reprenant les termes de l'arrêté du 18 novembre 1948, spécifie que l'anesthésie générale s'inscrit parmi les actes médicaux « ne pouvant être exécutés par

des auxiliaires médicaux qualifiés que sous la responsabilité et la surveillance directes d'un médecin, celui-ci pouvant contrôler et intervenir à tout moment ». Remarquons d'ailleurs en passant que cet arrêté ne précise pas ce qu'on doit entendre dans ce cas par « auxiliaire qualifié », la qualification pouvant être aussi bien liée à la possession d'un diplôme approprié, que consacrée simplement par une longue pratique.

Vis-à-vis de la responsabilité de l'acte anesthésiologique, nous sommes donc amenés à distinguer trois possibilités :

a) *L'anesthésie est laissée aux soins d'une personne qualifiée ne possédant pas le grade de docteur en médecine.*

Dans ce cas, en vertu de l'arrêté du 6 janvier 1962, un médecin présent dans la salle d'opération est obligatoirement chargé de la surveillance de l'anesthésie dont il assume alors l'entière responsabilité.

Cette responsabilité est bien entière, puisqu'elle s'étend non seulement aux indications des techniques utilisées pour l'anesthésie, mais aussi à la façon dont elles sont exécutées par le ou les auxiliaires choisis pour ce travail.

Le médecin engage donc déjà sa responsabilité par le choix ou l'acceptation des auxiliaires en question et l'appréciation de leur compétence en fonction de la tâche qu'ils devront accomplir.

D'une manière plus générale, on peut dire qu'entre un docteur en médecine effectuant une intervention chirurgicale et son anesthésiste, lorsque celui-ci n'est pas médecin, il existe des rapports de commettant à préposé, qu'à ce titre l'opérateur doit diriger son anesthésiste et qu'il demeure responsable des actes dommageables commis par ce dernier dans les fonctions auxquelles il l'a employé.

Cette conception du problème s'appuie directement sur le paragraphe 3 de l'article 1.384 du code civil, dans lequel il est dit que « Les maîtres et les commettants sont responsables des dommages causés par les domestiques et préposés dans les fonctions auxquelles ils sont employés ».

Au total, retenons que lorsque l'anesthésie est laissée aux soins d'un auxiliaire non médecin le problème est relativement simple : la responsabilité de cet acte est entiè-

rement et automatiquement supportée par un médecin de l'équipe et, sauf dispositions contraires, dûment explicitées, le médecin responsable est l'opérateur lui-même, alors même qu'il ne prend aucune part effective à l'anesthésie.

Toutefois, ce principe ne peut jouer si l'auxiliaire n'a pu être librement choisi, par exemple pour des raisons de force majeure, ou si les actes dommageables qu'il a accomplis ne relèvent pas directement de l'exercice de ses fonctions.

Enfin, un recours du médecin responsable est toujours possible contre son auxiliaire dans le cas où il apparaîtrait que ce dernier n'ait pas entièrement tenu compte des consignes qu'il avait reçues.

b) *L'anesthésie est pratiquée par un docteur en médecine non spécialement qualifié.*

Déjà dans ce cas le problème apparaît plus complexe puisqu'il met en jeu deux principes apparemment contradictoires :

1° *Le chirurgien assume la responsabilité générale de l'intervention.*

— Il est souvent, dans ce cas, le seul médecin présent qui soit lié contractuellement au malade.

— Il est ainsi mandataire des intérêts du malade aux fins de choisir le personnel (médecin ou non) que nécessite l'intervention.

— Il est en mesure d'établir, vis-à-vis de ses assistants médecins, un lien de préposition, ce qui semblerait nous ramener au cas précédent : un médecin pourrait-il, au regard d'une victime de sa faute, être le préposé d'un autre médecin qui serait responsable de ses actes, pourvu que soient remplies les conditions de choix et de subordination qui créent entre toutes personnes un lien de préposition ? Cependant :

2° *L'article 9 du code de déontologie spécifie que « le médecin ne peut aliéner son indépendance professionnelle sous quelque façon que ce soit ».*

Ce qui signifie que tout médecin reste toujours personnellement responsable de la façon dont il exerce son art.

quelles que soient les circonstances dans lesquelles il se trouve.

Que pouvons-nous déduire de la considération de ces deux principes sinon que dans ce cas la responsabilité de l'acte anesthésiologique ne peut qu'être partagée entre l'opérateur et le médecin qui a pratiqué cet acte, que ce dernier soit ou non lié contractuellement au malade ?

Il est toujours possible de reprocher à l'opérateur d'avoir choisi ou d'avoir accepté un médecin insuffisamment qualifié pour remplir cette fonction.

Il semble que la jurisprudence actuelle ait tendance à envisager le problème sous cet angle, comme le prouvent plusieurs attendus de jugements récents.

« L'indépendance du médecin dans l'exercice de son art est certaine et même d'ordre public », écrivent MM. Savatier, Auby et Péquignot, « mais ce n'est que celle d'un technicien privilégié, lequel peut parfaitement être le préposé d'un employeur répondant ». A ce sujet, C. Vaillat et M. Giraud font la remarque suivante : « D'après les principes généraux du droit, quiconque s'engage contractuellement à fournir des soins médicaux à des personnes est, en vertu même de son contrat, responsable envers elles des fautes du médecin qu'il emploie dans ce but. Il en est aussi bien ainsi pour un médecin qui en utiliserait un autre, à condition qu'un lien de subordination existe entre les deux praticiens ».

Enfin, la Cour d'Appel de Paris a précisé récemment que « l'indépendance du médecin prévue à l'article 9 du code de déontologie ne fait pas obstacle à ce qu'un praticien puisse, au regard d'une victime de sa faute, être le préposé au sens de l'article 1.384 du code civil ».

Cependant, l'application de l'article 1.384, 5^e alinéa, du code civil, est la source de controverses, car le malade étant lié contractuellement au chirurgien, celui-ci est responsable, en vertu de ce contrat, du préjudice causé par la faute d'un de ses assistants. Mais il faut souligner la tendance actuelle des tribunaux à faire jouer, même à l'égard de la victime, la responsabilité quasi-délictuelle du médecin à la place de la responsabilité contractuelle en cas d'acci-

dent causé par un membre de « l'équipe chirurgicale » ou par un matériel défectueux. Nous allons d'ailleurs retrouver, à propos du cas suivant, une tendance analogue.

c) *L'anesthésie est assumée par un anesthésiste qualifié.*

Nous devons, en premier lieu, souligner le fait que dans ce cas il ne peut plus subsister de lien de subordination entre l'opérateur et l'anesthésiste, en effet :

— Tous deux sont docteurs en médecine, donc jouissent de l'indépendance professionnelle spécifiée par l'article 9 du code de déontologie;

— Tous deux sont munis d'une qualification analogue, garantissant qu'ils possèdent toutes les aptitudes requises dans l'état actuel de nos connaissances pour s'acquitter dans les meilleures conditions de la tâche qui leur est impartie.

Jusqu'ici le problème paraît donc relativement simple et l'on est déjà tenté de considérer que pour les raisons données plus haut, le médecin anesthésiologiste qualifié assume toujours l'entière responsabilité de l'anesthésie qu'il administre.

Il reste cependant à envisager le seul point qui puisse, dans cet ordre d'idées, différencier la position de l'opérateur de celle de l'anesthésiologiste et qui se trouve être justement la source de nombreuses controverses sur le plan juridique : il s'agit de la présence ou non d'un *contrat* entre ce dernier et le malade sachant que par ailleurs un tel contrat existe obligatoirement entre malade et opérateur.

La jurisprudence considère qu'il existe un contrat avéré entre l'anesthésiologiste et le malade, dès que celui-ci a été choisi ou même simplement agréé implicitement par le malade en question. Il peut donc s'agir d'un contrat absolument tacite dont il est bien difficile en pratique d'établir les critères de manière formelle.

Il semble que dans l'esprit jurisprudentiel les critères d'existence d'un tel contrat puissent être fournis

— soit par le fait que l'anesthésiologiste ait procédé à un examen médical du malade avant l'intervention (ce critère est logique parce que cet acte, d'une part, suppose

un accord de la part du malade et, d'autre part, permet à l'anesthésiologiste d'accomplir un acte médical complet). Mais cet élément d'appréciation n'a de valeur pour reconnaître à contrario l'absence de contrat que s'il n'y a pas eu omission fautive;

— soit par le fait que l'anesthésiologiste ait été présenté au malade par le chirurgien avant l'intervention (ou à sa famille s'il s'agit d'un enfant), cet élément constituant la preuve d'un agrément au moins tacite du choix fait par le chirurgien.

Ces deux critères sont très bien réunis en pratique lorsque le chirurgien et l'anesthésiologiste font une visite commune au futur opéré.

Lorsqu'on considère différents attendus de jugements récents, il semble en ressortir qu'actuellement on puisse opposer deux attitudes qui ont été prises, compte tenu de l'existence ou non de ce contrat :

1° Certains juristes ont voulu considérer qu'en l'absence de contrat même tacite vis-à-vis du malade et en l'absence d'examen pratiqué avant l'intervention, l'anesthésiologiste n'apparaissait « que comme l'assistant du chirurgien à qui celui-ci avait le droit et le devoir de donner des instructions », le chirurgien, bien que n'ayant pas commis de faute professionnelle, étant alors considéré « comme responsable des fautes délictuelles commises par le médecin anesthésiste ». Un tel jugement a été rendu il y a quelques années par la Cour d'Appel de Paris.

Cette conception supposerait que le médecin anesthésiste exerce sa profession indifféremment de deux manières :

— soit en tant que préposé du chirurgien, en renonçant délibérément aux prérogatives liées à son grade de docteur en médecine et à son titre de médecin qualifié, dans ce cas la responsabilité délictuelle de ses actes serait assumée par le chirurgien;

— soit en tant qu'anesthésiologiste qualifié exerçant en toute responsabilité un acte médical complet sur un malade auquel il est lié contractuellement.

Oùtre que cette conception est en désaccord avec le code de déontologie, elle a le très grave inconvénient de paraître confondre deux cas très différents :

— D'une part, celui où le médecin anesthésiste se transformerait en un simple préposé du chirurgien d'une manière suffisamment explicite pour qu'aucun doute ne subsiste sur la nature restreinte de son rôle dans l'équipe chirurgicale;

— D'autre part, celui où le médecin anesthésiste, en omettant l'examen préalable de son malade, n'a, en réalité, fait que commettre une faute professionnelle patente dont on ferait alors, contre toute logique, assumer la responsabilité par le chirurgien !

De toute façon, il nous paraît illogique et en définitive peu souhaitable pour l'anesthésiste d'être parfois amené à renier ainsi les prérogatives attachées à son grade et à ses titres, même s'il y gagne d'être apparemment dégagé de ses responsabilités dans certains cas.

C'est pourquoi nous pensons que, pour éviter toute confusion, il appartient à l'anesthésiste, conscient de la valeur de sa qualification, de toujours réclamer des conditions d'exercice telles qu'il puisse accomplir un acte médical véritablement complet et en assumer la responsabilité en toute indépendance. D'ailleurs il peut légalement exiger ces conditions puisque « hors le cas d'urgence et celui où il manquerait à ses devoirs d'humanité, un médecin a toujours le droit de refuser ses soins pour des raisons professionnelles ou personnelles » (article 35 du code de déontologie);

2° Il semble d'ailleurs qu'on s'orienterait plutôt actuellement vers cette dernière façon de concevoir la responsabilité du médecin anesthésiste, comme tendraient à le prouver les attendus de quelques jugements récents dont il ressort que pour celui-ci le fait d'avoir le titre voulu et de pratiquer une anesthésie sans examen préalable, constitue en soi une faute professionnelle, donc délictuelle.

Ainsi dans ce cas l'opérateur, seul lié au malade par un contrat, endosserait toute responsabilité contractuelle, alors

que l'anesthésiste assumerait, lui, à titre délictuel, la responsabilité de ses propres actes.

Cette conception s'appuie directement sur les articles 1.382 et 1.383 du code civil qui précise que « tout fait quelconque de l'homme qui cause à autrui un dommage, oblige celui par la faute duquel il est arrivé, à le réparer » et que « chacun est responsable du dommage qu'il a causé non seulement par son fait mais encore par sa négligence et son imprudence ». Or, cette négligence ou cette imprudence doivent, semble-t-il, être évaluées en fonction des capacités et connaissances particulières de l'intéressé; la faute étant d'autant plus sévèrement appréciée que l'existence et la qualité de telles capacités ou connaissances sont mieux garanties.

Ainsi que le précisait déjà un arrêté de la Cour de Cassation rendu en 1835 : « L'on est responsable envers les tiers non seulement de son imprudence, de sa légèreté, mais encore de l'ignorance de ce que l'on doit savoir » et « du moment que les faits reprochés au médecin sortent de la classe de ceux qui, par leur nature, sont exclusivement réservés aux doutes et aux discussions de la science, du moment qu'ils se compliquent de négligence, de légèreté ou d'ignorance des choses qu'on devrait nécessairement savoir, la responsabilité de droit commun est encourue et la compétence de la justice est ouverte ».

Toujours sur le plan général, après avoir ainsi envisagé la façon dont on peut déterminer la ou les personnes responsables de l'anesthésie, il nous reste à exposer brièvement deux points plus particulièrement relatifs à la nature de cette responsabilité :

1^o *Cette responsabilité porte sur les conditions d'exécution de l'anesthésie. C'est-à-dire à la fois :*

— Sur la façon dont a été exécutée la technique d'anesthésie choisie (parfois en anesthésie comme parlout en médecine « la façon de donner vaut mieux que ce que l'on donne »).

— Sur le choix judicieux et la vérification du bon état de l'appareillage et de l'équipement nécessaire pour garan-

tir le minimum de risques dans cette exécution en fonction des données actuelles de la science.

Il se trouve qu'en anesthésie, et particulièrement lorsqu'on envisage de s'adresser soit à un agent explosif, soit à un agent intra-veineux, ce dernier point revêt une importance capitale en pratique, comme nous le verrons dans le cas qui nous intéresse.

Une question se pose donc :

Quelles sont les personnes responsables de l'existence et du bon état de l'appareillage nécessaire et aussi, d'une manière très générale, de l'équipement adéquat de la salle d'opération ?

Pour répondre à cette question il paraît utile de classer schématiquement en quatre catégories les conditions matérielles qui doivent être appropriées à l'anesthésie envisagée :

a) L'appareillage permettant d'administrer le ou les agents anesthésiques;

b) Tous les dispositifs permettant de parer à l'éventualité d'un accident que l'emploi de la technique d'anesthésie utilisée rend prévisible. Dans cette catégorie peut se ranger l'appareillage de réanimation cardio-vasculaire ou respiratoire si l'on utilise un agent pouvant être à l'origine d'une apnée prolongée;

c) Tout ce qui, dans l'équipement de la salle d'opération, peut avoir une répercussion sur le mode d'anesthésie utilisé. Nous avons vu, au chapitre des causes que, dans le cas de l'emploi d'un agent explosif, il s'agit de l'existence ou non d'une mise à la terre des objets de la salle par roulettes conductrices et sol conducteur ou tout autre procédé, de circuits électriques protégés ou non contre les risques d'étincelage ou d'échauffement, de la présence ou non de flammes nues ou de surfaces incandescentes; tous ces points étant ici très importants, puisque directement liés aux risques d'explosion mettant en jeu la vie du malade;

d) Les appareils employés par le chirurgien qui peuvent avoir une répercussion sur l'anesthésie et qui ne sont pas indispensables à la réalisation de l'intervention : il s'agit en fait des thermocautères ou des appareils à électrocoagulation utilisés lors d'une anesthésie par agents inflammables.

Il semble logique que le responsable de l'anesthésie soit en même temps directement responsable de l'existence et du bon état des appareils classés dans les deux premières catégories, parce qu'il est sensé posséder en pratique les connaissances requises pour vérifier lui-même l'existence et le bon fonctionnement des appareils en question et qu'il a, théoriquement, le droit de refuser de pratiquer l'anesthésie dans le cas où une telle vérification ne lui donnerait pas satisfaction.

L'anesthésiologiste n'étant pas toutefois en même temps physicien ou ingénieur, il est bien évident que pour certains contrôles son rôle doit se limiter en ce domaine à faire appel aux techniciens appropriés et à suivre leurs indications, cette précaution suffisant lorsqu'elle est dûment prise, à dégager sa responsabilité vis-à-vis des contrôles en question.

En ce qui concerne les conditions que nous avons classées dans la troisième catégorie, et plus particulièrement celles qui peuvent avoir une répercussion sur l'emploi des agents-explosifs, il serait souvent difficile à l'anesthésiste de vérifier qu'elles sont bien appropriées à l'anesthésie qu'il envisage et, de toute façon, de telles vérifications sortiraient parfois nettement du cadre de sa compétence professionnelle.

Cependant, lorsque l'anesthésiologiste est placé dans des conditions telles qu'il est en mesure d'assumer l'entière responsabilité de ses actes, il doit être aussi théoriquement responsable de toutes les précautions qui peuvent et doivent être prises pour que les actes en question soient réalisés avec un maximum de sécurité.

Puisqu'il est bien évident que la mise en œuvre de mesures telles qu'une mise à la terre efficace concernant l'ensemble des appareillages d'une salle d'opération ne sau-

raient incomber à l'anesthésiste, il ne reste logiquement qu'une solution : c'est que l'anesthésiste dégage sa propre responsabilité dans ce domaine en exigeant que la personne gestionnaire de l'établissement dont dépend la salle d'opération et son appareillage, lui certifie que les précautions nécessaires ont été prises et contrôlées comme il convient par des techniciens compétents.

Les « précautions nécessaires » dont l'anesthésiste aurait ainsi le devoir d'exiger l'existence dans ce domaine, se limiteraient certainement au point de vue de la jurisprudence, à celles précisées par les instructions et dispositions réglementaires officielles en vigueur au moment de l'accomplissement de l'acte anesthésiologique.

Ainsi, en définitive, il appartiendrait à l'anesthésiste de veiller indirectement à ce que soient respectées les instructions officielles en matière de protection contre les explosions risquant d'être provoquées par la présence des produits qu'il utilise.

Ce point de vue nous paraît parfaitement justifié.

Cependant, il se heurte en fait à de grosses difficultés d'application pratique dans les conditions présentes d'exercice de la profession d'anesthésiologiste en France :

En effet, le médecin anesthésiste voit le plus souvent son assistance sollicitée par le chirurgien qui a décidé l'intervention. Il ne choisit pas la clinique dans laquelle il est appelé à travailler; il n'adresse pas de clientèle à cette clinique et, par conséquent, il lui est bien difficile de jouer un rôle dans l'équipement et le choix des appareillages installés en salle d'opération.

En ce qui concerne les conditions que nous avons classées dans une quatrième catégorie, nous les envisagerons dans le cas particulier de l'emploi des agents explosifs.

2° Cette responsabilité porte sur le choix de la technique et des agents anesthésiques à utiliser.

« Le seul fait (pour le praticien) de choisir, au cours d'une opération, un procédé d'anesthésie plus dangereux qu'un autre constitue en soi une faute, même si la méthode comporte des avantages en contre-partie des risques accrus qu'elle entraîne »,

précise dans ce sens le tribunal d'Aix en 1949. Comme nous le verrons plus loin, cette estimation est en définitive, à notre avis, le véritable principe directeur sur lequel doit toujours s'appuyer le choix entre un agent explosif et un agent non explosif dans chaque cas particulier.

Il faudrait aussi évoquer ici le problème de l'adhésion du malade, mais pour les besoins de notre étude il suffit d'admettre qu'en définitive le médecin responsable de l'anesthésie est mieux placé que le malade pour pouvoir apprécier les données qui président à ce choix et que, par conséquent, le malade ne peut qu'exprimer une fois pour toutes sa confiance en ce médecin et ratifier son choix par avance.

II. — CONSIDÉRATIONS RELATIVES A L'APPLICATION DE CES DONNÉES GÉNÉRALES SUR LA RESPONSABILITÉ DANS L'ACTE ANESTHÉSIOLOGIQUE AU CAS PARTICULIER DE L'EMPLOI DES AGENTS INFLAMMABLES

1° La détermination de la personne qui assume cette responsabilité relève de l'application pure et simple des principes que nous avons énoncés plus haut à ce sujet. Nous n'y reviendrons pas ;

2° Par contre, certains aspects relatifs à la nature de cette responsabilité nous retiendront plus longuement.

a) *Les problèmes liés aux conditions d'exécution de l'anesthésie.*

Nous avons vu que l'appareillage d'anesthésie, comme l'équipement de la salle d'opération, peuvent être à l'origine de sources d'allumage pour les mélanges explosifs et nous avons tenté de déterminer qui était responsable de cet appareillage et de cet équipement. Il nous reste à exposer quelles sont les mesures que la Loi exige en ce domaine et dont l'absence peut ainsi être considérée comme une faute :

Ces mesures n'apportent aucune restriction de principe à l'emploi des anesthésiques explosifs et donc aucune entrave au libre choix de l'agent utilisé pour l'anesthésiste ou le chirurgien. Leur incidence n'est que financière.

Le Ministère de l'Intérieur a précisé ces mesures dans son arrêté daté du 16 septembre 1959 (chapitre IV, sections X et XIII) paru au *Journal Officiel* du 4 octobre 1959 et venant en complément d'application du décret 54-856 du 13 août 1954.

Les principaux points relatifs à la prévention des explosions, précisés dans cet important arrêté sont les suivants :

Art. U 57. — « Pendant toute la durée du séjour des opérés, l'atmosphère (des salles d'opération) doit être régulièrement renouvelée par un apport d'air neuf d'au moins 120 mètres cubes-heure par table d'opération. Le mouvement de cet air doit être assuré par des ventilateurs de pulsion et d'extraction...

Les orifices d'air doivent être judicieusement disposés de manière à assurer un écoulement de haut en bas... »

Un recyclage partiel de l'air de la salle ne peut être autorisé que s'il existe un dispositif de captation des vapeurs de gaz anesthésiques reconnu efficace...

Art. U 58. — « Les charges d'électricité statique susceptibles de se développer sur les objets et les personnes doivent être écoulées à la terre sans décharge disruptive. En conséquence, les matières constituant un bon isolant électrique sont à éliminer, sauf si elles font partie du matériel électrique; on doit leur substituer des produits analogues présentant une conductance électrique appropriée, produits dits « anti-statiques ».

En particulier les sols, les chaussures du personnel, les roulettes des chariots, les masques et autres parties non métalliques des appareils d'anesthésie doivent être en matériaux anti-statiques. Il doit en être de même pour les canalisations de distribution de fluides si elles ne sont pas métalliques. »

Art. U 60, § 1. — « Les canalisations électriques, sauf exception indiquée au paragraphe suivant, doivent être placées à demeure et être spécialement protégées contre les dégradations. A cet effet, ou bien elles sont encastrées dans les parois ou bien elles comportent un revêtement métallique continu... »

§ 2. — « Les conducteurs souples ne sont autorisés que pour raccorder aux canalisations placées à demeure des appareils électriques qui doivent nécessairement être amovibles. Ces conducteurs doivent comporter une gaine métallique souple reliée à la terre » ou, à la rigueur, dans certains cas, une gaine isolante résistante aux solvants « maintenue en parfait état et contrôlée avant chaque intervention ».

Art. U 61, § 1. — L'installation électrique et tous les appareils situés à moins de 1 m. 60 du sol doivent être établis comme il est de règle dans les locaux présentant des risques d'explosion. »

§ 2. — « Les masses métalliques des appareils électriques doivent être mises à la terre avec un soin tout particulier. Au même circuit de terre doivent être reliés les conduits, armures et gaines des canalisations, ainsi que toutes les parties métalliques apparentes du bâtiment. »

§ 3. — L'emploi des appareils électromédicaux comportant des pièces sous tension nues (cautères et bistouris) est cependant autorisé à condition de redoubler de précautions.

Art. U 95, § 1. — Les canalisations d'oxygène et leurs raccords ne doivent être recouverts d'aucune graisse. Les vannes sur haute pression doivent être à manœuvre lente.

Art. U 98. — Une affiche mettant le personnel en garde contre les dangers de l'oxygène et du protoxyde d'azote doit être apposée à proximité de tout dépôt et de tout appareil d'utilisation. Elle doit mentionner le danger de fumer et celui du contact des gaz avec les graisses de toutes origines.

Art. U 88, § 1. — Dans les salles d'opération, l'éther doit être placé dans des récipients contenant au maximum 0,5 litre et fermés hermétiquement.

Art. U 101. — L'application des prescriptions ci-dessus relatives à l'utilisation de l'oxygène, du protoxyde d'azote et des liquides inflammables est sous la responsabilité technique du *pharmacien de l'établissement* ou, à défaut, d'un médecin désigné.

Il est certain que l'équipement de très nombreuses salles d'opération est encore loin d'être parfaitement conforme à cette nouvelle réglementation.

Bien plus, certains appareils d'anesthésie encore mis en vente à l'heure actuelle, ne sont pas réglementaires sur ce chapitre.

Ces faits s'expliquent par la date relativement récente de la circulaire ministérielle et du décret dont nous venons de mentionner quelques points. Ce n'est d'ailleurs qu'en novembre et décembre 1960 que ces nouvelles dispositions réglementaires ont été exposées par les soins du Ministère de la Santé aux inspecteurs de pharmacie et aux ingénieurs hospitaliers.

Antérieurement à ce décret, un certain nombre des importantes mesures de protection que nous venons de voir n'avaient fait l'objet, de la part des pouvoirs publics, que de simples recommandations et encore ces recommandations n'avaient-elles été formulées que récemment, en particulier par le Docteur Hazemann, Inspecteur Général de la Santé et de la Population, dans sa note d'information publiée en novembre 1958.

En ce qui concerne les appareils d'anesthésie, il semblerait nécessaire d'envisager leur homologation et l'interdiction de vente des appareils non homologués.

b) Les problèmes liés au choix entre agents explosifs et agents non explosifs.

Nous avons donné le principe général qui doit diriger un tel choix : de ce principe découle qu'entre ces deux types d'agents, *on doit nécessairement opter pour celui dont l'emploi offre le moins de danger pour le malade, quels que soient, par ailleurs, les avantages secondaires de l'un ou de l'autre.*

Nous pensons qu'on ne doit jamais perdre de vue ce critère décisif.

Cependant, au point de vue médico-légal, compte tenu :

— de la condamnation, dès le début de ce siècle, de la vieille distinction entre opérations nécessaires à la conservation de la vie, seules légalement justiciables de l'anesthésie, et opérations non nécessaires à la vie;

— de l'affirmation du principe du libre choix de l'agent thérapeutique dans le domaine chirurgical et anesthésique : principe qui fut déjà soutenu dès 1906 par la Cour d'Amiens;

— des articles 1382 et 1383 du code civil précédemment cités,

il apparaît nécessaire de distinguer deux cas :

— celui dans lequel l'emploi de l'un des agents de préférence à l'autre peut constituer une faute professionnelle caractérisée;

— celui dans lequel ce fait peut être simplement discutable sur le plan scientifique, sans que l'unanimité ne soit encore faite à ce sujet.

En effet, comme le remarque R. Chacornac, pour qu'il y ait faute caractérisée, il faut que « le fait incriminé ne puisse être défendu en invoquant des théories ou des controverses scientifiques, ou en s'appuyant sur l'autorité de certains médecins ».

En l'état actuel de la science, il semble que le choix d'un agent explosif lorsqu'existent toutes les conditions requises pour utiliser un autre agent en toute sécurité ne puisse constituer une faute médico-légale que si ce choix a été décidé sachant que les mesures de protection exigées par la loi n'avaient pas été prises ou sachant qu'il existait dans la salle et d'une manière patente, une flamme, une surface incandescente ou une source d'étincelles électriques qu'on n'a pas pu ou pas voulu faire supprimer.

Il n'en demeure pas moins que réciproquement la personne qui a créé de sa propre autorité cette source d'allumage peut, elle aussi, être responsable en cas d'accident.

C'est, semble-t-il, dans cet état d'esprit qu'on peut envisager le problème de l'emploi du bistouri électrique en présence d'anesthésiques inflammables :

— ou bien l'agent inflammable peut être considéré comme irremplaçable dans les conditions envisagées, alors que l'usage du bistouri électrique, lui, ne l'est pas et dans ces conditions la responsabilité d'une éventuelle explosion ne peut revenir qu'au chirurgien ;

— ou bien une autre technique d'anesthésie pouvait parfaitement être envisagée et la responsabilité est partagée entre le chirurgien et l'anesthésiste, puisque chacun a créé l'une des deux conditions nécessaires à l'explosion, sans que la création de ce danger grave et évident ne soit médicalement acceptable.

En dehors de ces cas de source d'allumage patente, il semble difficile de reprocher à l'anesthésiste, sur le plan médico-légal, le choix d'un agent explosif, même s'il sait qu'il existe des possibilités d'allumage d'origine électrostatique, lorsque toutefois les précautions exigées à ce sujet par la loi ont été prises. Dans de telles conditions, en effet, nous entrons dans le domaine des faits pouvant être défendus « en invoquant des théories ou des controverses scientifiques ».

L'anesthésiste est actuellement encore en mesure de soutenir,

par exemple, que le risque d'explosion entraîné par l'emploi du cyclopropane dans de telles conditions est plus faible que le risque de complications post-opératoires entraîné par la substitution à ce produit d'un agent intra-veineux donnant un réveil nettement plus lent, la période de réveil incomplet étant particulièrement dangereuse lorsque le malade est ainsi ramené dans son lit et livré à une surveillance moins soutenue.

D'une manière analogue il pourrait, hors le cas d'existence d'une source d'allumage patente ou même probable, du fait de l'absence des précautions exigées par la loi, soutenir qu'en employant l'éther il a pesé tous les risques dus à l'emploi de cet agent et que leur somme était encore moins élevée que celle des risques dus à l'emploi de tout autre agent dans le cas envisagé.

On sait, en effet, que dans l'état actuel de la pratique de l'anesthésie en France, où les médecins anesthésistes diplômés sont, pour quelques années encore, en nombre insuffisant, l'emploi du mélange éther-oxygène offre, en chirurgie courante, le maximum de sécurité et, dans l'immense majorité des cas où l'anesthésie est réalisée par un auxiliaire médical, le risque d'explosion d'un tel mélange est bien moins grand que les avantages qu'il procure par ailleurs au point de vue sécurité.

Après avoir exposé les différents aspects théoriques du problème médico-légal, nous donnerons, pour illustrer ces données, quelques extraits d'un jugement rendu récemment par la Cour d'Appel de Paris à propos d'un cas concret qui nous paraît particulièrement intéressant parce qu'il est en rapport avec une source d'allumage dont l'origine électrostatique a pu être établie de manière certaine; or, nous avons vu que c'est dans le domaine des mesures de protection contre l'électricité statique qu'il est le plus difficile d'établir où commence réellement la faute médico-légale, compte tenu de l'évolution et du développement actuel des possibilités de protection :

« Considérant que la dame L... est décédée..., au cours d'une intervention chirurgicale, en suite d'une explosion due à la détonation d'un mélange oxygène-cyclopropane provoquée par une décharge électrique qui s'est produite au niveau de la soupape du circuit d'expiration d'un appa-

reil à anesthésie générale..., utilisé par le docteur X..., anesthésiologiste qui en était d'ailleurs propriétaire...

Considérant que, d'après les experts, cette décharge a pu se produire entre les parties de l'appareil qui n'étaient pas reliées entre elles par un même conducteur de manière à former des volumes équipotentiels.

Que cet appareil, enfin, présentait une lacune grave de conception, puisque constitué par une série d'éléments métalliques reliés par des isolants et que les conditions étaient ainsi remplies pour qu'une étincelle disruptive puisse jaillir entre deux points portés à un potentiel différent dans un circuit contenant un mélange gazeux explosif.

Or, considérant qu'il résulte du dossier de l'information et des documents communiqués que l'appareil à anesthésie... en fonctionnement, était ainsi susceptible de produire des charges électrostatiques élevées :

1° Soit à la suite de frictions sur des parties diélectriques, frictions développant des charges qui se sont accumulées, notamment sur l'une des pièces métalliques de la valve d'expiration qui était séparée par un manchon de verre isolant du bâti général;

2° Soit à la suite de production, à la face interne du manchon transparent et non conducteur, de gouttelettes de buée se chargeant d'électricité et qui ont pu influencer la valeur du potentiel disruptif sans qu'il soit possible, disent les experts, de préciser dans quel sens et de quel ordre de grandeur;

3° Soit par le jeu du clapet anti-retour, sis à l'intérieur de la valve et composé de caoutchouc non conducteur, hypothèse admise par l'expert...

4° Soit même par le frottement engendré par la circulation du mélange gazeux.

Considérant qu'il a été reproché au Docteur X... de n'avoir pas placé entre les deux flasques métalliques de la valve d'expiration la spirale conductrice prévue par le constructeur, permettant ou facilitant l'égalisation des charges et leur évacuation... »

Mais :

« ...Considérant qu'il n'est pas suffisamment démontré que cette bague de court-circuit n'était pas en place lors de l'explosion, ni d'ailleurs que sa présence aurait constitué un obstacle efficace à la production de charges électrostatiques, puisque l'appareil à anesthésie n'était pas conducteur dans tous ses éléments.

Considérant enfin que la présence de cette spirale n'aurait joué aucun rôle dans les hypothèses envisagées ci-dessus où la cause d'électrisation aurait été interne, par exemple par le jeu du clapet composé d'éléments en caoutchouc isolant.

Considérant encore que l'on a fait grief (au prévenu) de n'avoir pas utilisé sur son appareil des tuyaux de caoutchouc antistatiques.

Considérant qu'il n'est pas établi que de tels tuyaux étaient employés en France en 1957, observation étant faite que la mise en évidence du rôle joué par le caoutchouc conducteur, commençait à être envisagé depuis peu seulement.

Considérant enfin que l'on a également reproché au Docteur X... de ne s'être pas assuré de la conductibilité du sol de la salle d'opération.

Mais, considérant que (le prévenu) ne pouvait être rendu responsable de la mauvaise conductibilité du sol du bloc opératoire ni, par conséquent, de la mise à la terre de l'ensemble des appareils et de tout le personnel.

Que cette question, qui n'a fait l'objet de dispositions réglementaires qu'en septembre 1959, était encore à l'étude (à la date de l'accident), au sens de l'Académie de Chirurgie.

Qu'au surplus et ainsi qu'il a déjà été dit, le présence d'éléments isolants sur l'appareil à anesthésie aurait rendu cette précaution illusoire.

Considérant, en définitive, que l'on ne peut attribuer l'explosion à une négligence ou à une imprudence certaine du Docteur X...

Considérant, dès lors, qu'aucune faute de nature à entraîner sa responsabilité pénale n'ayant été démontrée, il con-

vient de relaxer (le prévenu) des fins de la poursuite, en confirmant le jugement déferé dans toutes ses dispositions. »

A propos de ce jugement, nous tenons surtout à souligner deux points :

1° Il a été reproché au Docteur X... de ne pas s'être assuré de la protection vis-à-vis de l'électricité statique :

— de son appareil d'anesthésie dans son ensemble ;

— de l'équipement de la salle d'opération (mise à la terre et conductibilité du sol) ;

2° La responsabilité du Docteur X... à propos de ces faits n'a pas été retenue parce qu'à la date de l'accident :

— les caoutchoucs conducteurs n'étaient pas utilisés en France et leur importance envisagée depuis peu seulement (les anesthésiologistes étaient, à cette époque, dans l'impossibilité de s'en procurer) ;

— les dispositions réglementaires correspondantes vis-à-vis de l'équipement des salles d'opération n'étaient encore qu'à l'étude et ne devaient entrer en vigueur que quelques années plus tard.

Il semble donc qu'à l'heure actuelle la responsabilité de l'anesthésiologiste serait retenue à ce propos puisque les arguments précédents ne sont plus désormais justifiés.

Ceci confirme bien qu'aujourd'hui il appartient théoriquement à l'anesthésiologiste, dans le cas où il assume la pleine responsabilité de ses actes professionnels, de s'assurer que les mesures de prévention dont il est question ont bien été prises tant en ce qui concerne ses propres appareils qu'en ce qui concerne l'équipement même de la salle d'opération, lorsqu'il envisage d'utiliser des agents explosifs. Mais nous avons vu les problèmes pratiques que pose l'application d'un tel principe pourtant logique en lui-même.

Remarquons enfin que, en fait, il ne paraît pas possible, même lorsque les dégâts les plus importants sont situés au niveau de la soupape expiratoire, d'affirmer que l'étincelle génératrice de l'explosion ait pris naissance de façon certaine au niveau de cette

soupape. Le Syndicat National des Anesthésiologistes Français a d'ailleurs déjà exprimé cette opinion.

Dans l'ouvrage de Mac Intosh : « *Physics for the anaesthetist* » sont analysés des travaux qui semblent en effet démontrer que lorsqu'une onde de choc naît de la mise à feu d'un mélange explosif dans un conduit, le maximum d'effets destructeurs n'a pas lieu nécessairement à l'endroit précis où le mélange s'est enflammé.

Or, pratiquement, toutes les parties d'un appareil conçu comme celui dont il est question plus haut et complété par des accessoires de caoutchouc non conducteurs peuvent donner naissance à une étincelle électrostatique.

*
**

Au terme de cette évocation des conséquences médico-légales éventuelles d'une explosion en salle d'opération, nous ne pouvons que souligner la complexité de certains problèmes de responsabilité et remarquer que dans le domaine de la faute professionnelle en la matière, un fait au moins nous paraît indiscutable : c'est que l'emploi des agents explosifs ne saurait être légalement admis en cas d'accident lorsque sont présents dans la salle une flamme nue, une surface incandescente ou toute autre source d'allumage patente.

Soulignons enfin que dans le domaine de l'équipement des salles d'opération, certaines mesures visant à lutter contre les dangers d'explosion sont actuellement exigées par la loi.

L'expérience montre d'ailleurs qu'en pratique ces mesures sont encore bien souvent absentes ou mal prises. (Nous avons exposé par ailleurs les graves conséquences qui peuvent quelquefois résulter des mesures mal prises ou incomplètement prises en ce domaine.) D'autre part, il n'en demeure pas moins que la carence de telles mesures, comme de celles visant à protéger l'appareil d'anesthésie contre les charges électrostatiques, peut à l'heure actuelle nous l'avons vu, être prise en considération par la justice et engager la responsabilité de l'anesthésiste dans l'éventualité d'un accident.

CONCLUSIONS

Les accidents résultant des explosions en salle d'opération sont rares, mais habituellement graves.

Ils engagent toujours directement la responsabilité légale et morale de celui qui décide de l'anesthésie et parfois la responsabilité d'autres membres de l'équipe chirurgicale, celle de la personne gérant l'établissement dont dépend la salle d'opération ou encore celle du pharmacien de cet établissement.

Leur retentissement dans le public est considérable du fait de leur caractère dramatique et de la publicité qui leur est faite dans la grande presse d'information.

*
**

Il n'existe que deux façons de prévenir le danger d'explosion :

— soit essayer d'empêcher la mise à feu des mélanges explosifs utilisés, en conjuguant deux moyens de prévention qui sont :

— la suppression de toute source d'allumage,
— l'élimination la plus complète possible de toute trace de gaz explosif dans l'atmosphère de la salle;

— soit renoncer à l'utilisation des anesthésiques inflammables.

La première méthode ne rend le danger réellement négligeable que si elle est exécutée d'une manière parfaite et complète. Dans le cas contraire, non seulement elle n'élimine pas tous les risques, mais encore elle peut devenir elle-même dangereuse :

— en offrant une fausse sécurité lors de l'emploi des agents explosifs;

— en créant parfois un nouveau risque : celui de l'électrocution.

Cette méthode, qui pour être totalement efficace, ne souffre par conséquent pas de demi-mesure, doit comprendre :

a) L'instruction du personnel au sujet des éventuelles causes d'explosion;

b) L'équipement approprié des salles d'opération.

La deuxième méthode est évidemment radicale et dispense, dans ce domaine, de toute autre précaution technique plus ou moins compliquée ou coûteuse; mais elle place le problème sur un autre plan plus proprement médical qui est celui des indications des agents explosifs et de leur éventuel remplacement.

Nous pensons que, dans l'état actuel des possibilités de la pratique anesthésique, le choix entre les agents explosifs et les agents non explosifs dans chaque cas particuliers doit être dicté en premier lieu par la nécessité d'employer la technique qui offre, en définitive, le plus de sécurité pour le malade, tous les autres critères ne venant qu'au second plan.

Ceci dit, il semble que, compte tenu des possibilités offertes par les moyens de réanimation actuels et par l'étendue de la pharmacopée moderne, il soit aujourd'hui possible, pour un anesthésiologiste qualifié, d'abandonner complètement et sans inconvénients notables les agents explosifs pour la chirurgie habituelle de l'adulte.

C'est en tout cas l'opinion des nombreux anesthésistes qui ont complètement renoncé à l'emploi des gaz explosifs.

Beaucoup de ceux-ci affirment même que, tout au moins pour un anesthésiste qualifié, il serait possible de supprimer, dans tous les cas, les agents explosifs sans diminuer par ailleurs la sécurité du malade, ni compliquer la tâche du chirurgien. Cette opinion est en particulier défendue par P. Huguenard en des termes que nous avons déjà rapportés.

Ce dernier point de vue reste cependant discutable et ne peut constituer, tout au moins actuellement, une règle générale, étant donné que la meilleure solution peut dépendre dans certains cas de l'expérience, des habitudes et des compétences particulières de chacun.

Enfin, nous mentionnerons à ce propos deux cas particuliers :

— Celui de certains types de chirurgie dans lesquels le remplacement de l'éther par d'autres agents anesthésiques peut retentir d'une manière importante sur les organes visés par l'intervention et, par là même, compliquer parfois singulièrement la tâche du chirurgien (c'est le cas par exemple dans certaines interventions sur les voies biliaires). Dans ces circonstances, il est bien évident qu'une telle substitution n'est sûrement pas souhaitable;

— Celui de l'anesthésie du très jeune enfant : il semble que le problème de l'élimination éventuelle des agents explosifs dans ce domaine soit en voie de résolution, en particulier grâce à l'introduction en anesthésie d'une nouvelle série de dérivés halogénés, dont le type actuel est l'halothane, mais qui s'enrichit rapidement de nouveaux corps dont certains répondront peut-être bientôt encore mieux aux exigences de l'anesthésie du tout jeune enfant.

*
**

Après avoir ainsi cherché à évaluer dans l'abstrait les possibilités respectives des deux grands moyens d'éviter les explosions anesthésiques en salle d'opération, il nous reste maintenant à envisager la façon dont ces deux moyens semblent pouvoir être mis en application dans les conditions actuelles de la pratique anesthésique en France et de l'équipement des salles d'opération.

a) La suppression des agents inflammables.

Il semble que cette façon de résoudre le problème puisse être déjà valablement choisie dans un grand nombre de cas et l'on peut supposer qu'elle pourra se généraliser dans un avenir plus ou moins proche.

Cependant, dans un certain nombre de circonstances, cette méthode se heurte encore actuellement à des difficultés pratiques :

— d'une part, nous avons vu que son opportunité est encore discutable dans certains cas particuliers, même lorsque l'anesthésie est pratiquée par un médecin qualifié;

— d'autre part, il est hors de doute que très souvent encore, lorsque l'anesthésie est entièrement assurée par un auxiliaire médical, un agent tel que l'éther reste absolu-

ment irremplaçable parce qu'assurant, du fait de ses propriétés pharmacodynamiques, une incomparable sécurité dans son administration;

b) La prévention systématique des risques d'explosions lorsqu'on utilise les agents explosifs.

Cette méthode peut toujours être utilisée, mais elle est coûteuse, complexe, réclamant souvent le concours d'ingénieurs spécialisés, et exigeant des soins constants. En ce qui concerne le point particulier de la mise à la terre des accessoires de la salle d'opération, elle pose parfois dans les blocs opératoires actuellement en service un problème technique difficile, dont la solution est souvent onéreuse, bien qu'elle soit nécessaire à l'obtention d'une sécurité quasi-totale.

*
**

En définitive, il semble que, du fait de la nécessité de prévenir les risques d'explosion liés à l'anesthésie, on doive s'orienter, d'une part, vers la restriction de l'emploi des agents inflammables et, d'autre part, vers la prise de précautions techniques de plus en plus complètes lorsque ces agents doivent être nécessairement employés.

Enfin, à l'avenir, il nous semble nécessaire de toujours prévoir, lors de la construction de nouveaux blocs opératoires, l'installation d'un équipement de base complet pour la prévention des explosions et, en particulier, l'aménagement de sols iso-électriques dans toutes les salles d'opération.

— Parce que, techniquement, lorsque de tels sols n'ont pas été prévus à la construction, il est incomparablement plus difficile de les réaliser par la suite.

— Parce qu'ils préservent toutes les possibilités d'utilisation pour l'avenir : il n'est pas certain que l'emploi des agents explosifs soit un jour complètement abandonné.

— Parce que, lorsqu'ils sont prévus dès la construction, ces sols sont d'un prix de revient acceptable : le prix d'un bloc opératoire neuf n'est augmenté que de 2 % environ par l'ensemble de l'équipement de prévention contre les explosions, ce qui représente, pour un grand centre hospi-

talier, une augmentation du prix de revient de l'ordre de deux ou trois pour dix mille (évidemment, cette charge est relativement plus lourde pour les petits hôpitaux).

— Enfin, parce que ces sols présentent encore l'avantage de protéger efficacement les appareils électriques de mesure les plus précis contre la plupart des parasites. Ce point n'est pas à négliger étant donné l'emploi de plus en plus fréquent de tels appareils en salle d'opération.

Vu :

LE DOYEN,
A.-H. HERMANN.

Vu :

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE :
P. MALLET-GUY.

Vu et permis d'imprimer :

Lyon, le 4 janvier 1963.

LE RECTEUR, PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ,
P. LOUIS.

BIBLIOGRAPHIE

- ADRIANI J. — Chemistry of Anaesthesia. Un vol., p. 536, 2^e édition, 1947, Charles C. Thomas, édit., Springfield, Illinois, U.S.A.
- AMIOT L. — Sur les dangers théoriques d'explosion et les accidents de la pratique anesthésique. *Anesth. Analg.*, Paris, 18 : 589-92, oct.-déc. 1961.
- AMY L.M. — Risques d'explosion dans les blocs opératoires. *Anesth. Analg.*, Paris, 18 : 573-88, oct.-déc. 1961.
- BASTRESS E.K. Jr., LAWRENCE J.S. — Caractéristiques de combustion des anesthésiques. *Anesthesiology*, 20 : 2, 192-97, mars-avril 1959.
- BATAILLE J. — Explosion en cours d'anesthésie. *Anesth. Analg.*, Paris, 13 : 271-73, mars-avril 1956.
- BEECHER H.K., TODD D.P. — A study of the deaths associated with anesthesia and surgery. *Annals of Surgery*, 34 : 140-2, 1954.
- BISHOP. — *Anesthesiology*, 7 : 75, 1946.
- BONSTEIN I. — Explosions en salle d'opération. *Médecine et Hygiène*, 20 avril 1955.
- BOVAY C. — Mesures de sécurité contre les explosions en salle d'opération. *Helvet. chir. Acta*, 22 : 135-39, mai 1955.
- BRACKENS A. — Static electricity in hospitals in relat. to explosions. *Med. illus.*, 6 : 643-50, déc. 1953.
- BROWN G.K. — Flammability an azeotropic mixture of ether and fluothane when vaporized in oxygen or air. *Canad. Anaesth. Soc. J.*, 7 : 297-303, juil. 1960.
- BULLOUGH J. — Prevent. explos. by with drawal method. *Lancet*, 1 : 798-801, avril 1954.
- BUREAU J. — Danger : L'électricité statique dans les salles d'opération. *Techn. Hosp.*, Paris, 12^e année, n^{os} 143 et 144, 57-60, août-sept. 1957.
- CELIBERTI B.J., WOOD P.M. — Survey of fire and explos. in hospitals of United States. *A. M. J. Surg.*, 83 : 527-30, avril 1952.

- CHACORNAC R. — Contribution à l'étude de l'anesthésie générale du malade ambulatoire. Thèse de Lyon, 74-96, juin 1962.
- CZAIKA F. — On safety measures in the operating room for protection against the hazard of explosion and fire during the use of modern anesthesia. *Zbl. Chir.*, 85 : 1480-85, 2 juillet 1960, Ger.
- DANKS R.T. — Fire and explosions hazards. *Hosp. progr.*, 41 : 80-83, avril 1960.
- DENAVA B.L., McDERMOTT. — Explosions hazards of intragastric anesthetic mixtures. *J.A.M.A.*, 174 : 2023-25, 17 déc. 1960.
- DOUGLAS B.L. — Dangers in dental operating rooms. *Oral surg.*, 5 : 989-92, sept 1952.
- DUBOST C., MATHIEU J., DURANTEAU A., ROLLIN G., THOMERET G. — Rupture de la trachée thoracique et des deux bronches par explosion anesthésique. Suture. Guérison. *Mém. Acad. Chir., Paris*, 83 : 23-24. 717-26; discussion, 726-28, 16-23 oct. 1957.
- EDRIDGE A.W. — Explosions hazards in operating room. *Med. and Biol. illust.*, 4 : 84-88, avril 1954.
- FONTAINE R. — Les responsabilités dans l'équipe chirurgicale en pratique de ville. *Anesthésiologie*, n° 10, déc. 1955.
- La responsabilité conjointe du chirurgien et de l'anesthésiste. *La Presse Médicale*, suppl. au n° 78, 409, 5 déc. 1953.
- Problèmes médico-légaux de l'anesthésie. *Acta d'Anesthésiologie*, 10, 1961.
- FORGAGS I., VOSZKA R., ORBAN I. — On explosions in operating room. *Anaesthesist.*, 9 : 357-60, déc. 1960, Ger. ou *Orv. Hetil.*, 100 : 1869-72, 27 déc. 1959.
- GINSBERG F.O.R. — Nurse should remind surgeon of potential explos. hazards. *Med. Hosp.*, 93 : 116, déc. 1959.
- GORDH T., EGMARK A. — Prevent of stat. electric. in anesthetic apparatus by radio-activity. *Anesth. and Analges.*, 31 : 400-402, nov.-déc. 1952.
- GREEN B.A. — Place of leather-soled shoes in prevent explos. *Anesth.*, 13 : 203-206, mars 1952.
- GREIN R.E. — Safety precautions for fire and explosions hazards in operating rooms. *Mil. Med.*, 119 : 36-39, juil. 1956.
- GRIFFIN N.L. — Preventing fires and explos. in operating room. *A. M. J. Nursing*, 53 : 809-12, juil. 1953.
- GUEST, SIKERN, LEWIS. — Bureau of Mines. Rep. of investigation, 48 : 33, janv. 1952.
- HADFIELD C.F. — Anesthetics explosions. *Brit. M. J.*, 2 : 332-34, août 1952.

- HAROLD R., GRIFFITH.** — Operating room explosions. *Anaesthesia and Analgesia*, 10 : 281, 1931.
- HAYT E.** — Hospital liable for anesthetic explos. due to defective equipment. *Hosp. Management*, 83 : 5, 78-79, mai 1957, Chicago.
- HAZEMANN R.H.** — Au sujet des explosions pouvant survenir dans les services opératoires à l'exclusion des accidents dus aux gaz sous pression. *Concours Méd.*, 81 : 3, 247-48, 17 janv. 1959 et *Techn. Hosp.*, Paris, 14 : 160, 65, janv. 1959.
- HENSEN J.P., INNESS BROWN H.A.** — A simple device for testing conductivity of shoes to reduce explosive hazards in operating room. *Anesthes. and Analgesia*, 37 : 6, 352-54, nov.-déc. 1958, Cleveland.
- HEWER L.C.** — Recent advances in Anaesthesia and Analgesia. Un vol., 8^e édition, Churchill, édit., Londres.
- HINGSON R.A., POLUSKY G.J.** — Non inflammable cyclopropane-oxygen-helium mixture in surgical practice. *Vestn. Khir. Grekor.*, 84 : 103-11, mars 1960, Rus.
- HINGSON R.A., BROWN C.A., GREGG E.C., ZIHERL F., KISH A., WEISS L., LELIEVRE R.E., EICKHOFF T.** — The development of non inflammable cyclopropane helium and oxygen mixtures for use in the reserve midjet anesthesia machine in miniature color designated steel cylinders. *Internat. J. Anesth.*, 4 : 1, 75-84, janv. 1957, Baltimore.
- HORTON J.W.** — Anesthesiology, 2 : 121, 1941.
- HUDENBURG R.** — Code for use of flammables anesthetics. *Hospitals*, 33 : 62-63, 16 oct. 1959.
- Safe practice for hospital operating room: recommandat. of National Fire Protect. Associat. *Hospitals*, 30 : 23, 55-56, 1^{er} déc. 1956, Chicago.
- IMO K.** — Danger d'explosion en anesthésie et considérations plus particulières sur l'électricité statique et sa prévention par les caoutchoucs conducteurs. *Anaesthesist*, 3 : 283-87, déc. 1954, Ger.
- JONES C.S.** — Anesthetic explosions in operating rooms: frequency and causes. *South. African M.J.*, 30 : 36, 861-64, 8 sept. 1956.
- JONES C.F.** — Recommended safe practice for explos., prevent. *Anesthesiology*, 17 : 5, 745-47, sept.-oct. 1956, Philadelphie.
- Case report of operating room fire in inhalat. tubing, causes and prevent. *Anesthesiology*, 17 : 5, 751, sept.-oct. 1956.
- JONES G.W., KENNEDY R.E., THOMAS G.J.** — Technical Paper, N° 653. U.S. Bureau of Mines, 1943.
- KEATING V.** — Anaesthetics accidents. Un vol., p. 261, Lloyd Luke, édit., London, 1956.

- KLEINE H.O., WINCK H. — Prévention des explosions en salle d'opération. Münch. Med. Wschr., 98 : 36, 1281-82, 7-21 sept. 1956.
- KLIMPEL L. — Risques d'explosion en anesthésie et leur prévention. Z. Aerztl. Fortbild., 55 : 225-32, 1^{er} mars 1961, Ger.
- KORNPROBST L. — Responsabilité du médecin devant la loi et la jurisprudence françaises. Flammarion, édit., 1958.
- LAHAUT J. — Protection contre les explosions en salle d'opération. La Presse Médicale, 16 : 769, 31 mars 1962.
- LEHMAN. — Les charges électrostatiques existant sur les appareils respiratoires et les respirateurs, et plus spécialement sur les appareils d'anesthésie. Deutsch. gesundh., 15 : 1628-32, 4 août 1960, Ger.
- LANDE M. — Le cyclopropane en mélange non explosif. Presse Méd., 67 : 4, 144, 24 janv. 1959.
- LERCHE H. — Explosions du mélange éther-oxygène et leurs conséquences légales. Anaesthesist, 6 : 4, 346, août 1957, Ger.
- LESETH K. — Ether explosions in a roentgen department. T. Norske Laegeforen, 81 : 1308-15, oct. 1961.
- LIND B. — Ether explosions in the operating room. T. Norske Laegeforen, 80 : 651-52, juil. 1960, Nor.
- MAC INTOSH. — Physics for the anaesthetist. Un vol., p. 443, 2^e édition, Blackwell, édit., Oxford.
- MAGEE K.C., BRACKEN A. — Apparatus for demonstrating hazards of static electricity in operating theaters. Brit. M. J., 2 : 321-22, août 1952.
- MAURANGE P. — Le conditionnement de l'air dans les hôpitaux et les écoles. La Semaine Médicale profession. et médico-soc., 35 : 96, suppl. Semaine Médicale, n° 43, 20 nov. 1959.
- MILLER G.I. J.R., DORNETTE W.H. — Flammability studies of fluoromax-oxygen mixtures used in anesthesia. Anesth. Analg., 40 : 232-37, mars-avril 1961, Clevel.
- MONTUSES. — Quelques réflexions sur quinze années de pratique du cyclopropane. Anesth. Analg., fév. 1953, Paris.
- MUSHIN W.W., THOMPSON P.W. — Cyclopropane in non explosive mixture for out patient anesthesia. Brit. M.J., 5084, 1376-78, 14 juin 1958, Londres.
- NEUVICQ E. — Responsabilité médicale et anesthésie. Gaz. Méd. de France, 64, 10 janv. 1957.
- NICHOLSON M.J., O.R.R., R.B. — Fire and explosion hazards in the operating room: causes and prevent. Surg., Clin. N. America, 37 : 3, 783-801, juin 1957, Philadelphie.

- ORR (R.B.). — The Explosion Hazard. Surg. Clin. North Amer., Lahey Clinic, 751-9, 1950.
- OYENS O. — Risks in operating rooms. T. Norske Laegeforen, 75 : 845-54, déc. 1955, Nor.
- PIANCASTELLI M. — Climatization du bloc opératoire. Bulletin d'informât. du Minist. de la Santé publ. et de la Populat., 3-4 : 49-57, 1959, Paris.
- PINSON K.B. — Anaesthetic explosions. Brit. M.J., 2 : 80, 1930.
- PLANO R.J. — Test evaluate fire hazard of static sparks. Med. Hosp., 95 : 154-56, sept. 1960.
- RIBEIRO B.A. — Fires and explos. of anesth. agents. Arq. Fac. hig e saude pub., 6 : 61-84, juin-déc. 1952, Paris.
- ROBERTS J.E., HEWER A.J.H. — Observat. on anaesthetics explosion risk. Anaesthesia, 8 : 79-89, avril 1953.
- SAVATIER R. — Semaine Juridique, 2 : 10533, 1959.
- SHUKYS J.G., NEELEY A.H. — Studies on the formation and decomposition of ether peroxydes in soda lime absorber and relation to flammability of mixture. Anesthesiology, 19 : 5, 671-75, sept.-oct. 1958, Philadel.
- SLESAREVA R.I. — Explosion des appareils anesthésiques au cours de l'anesthésie endo-trachéale par le mélange éther-oxygène. Khirurglia Moskva, 35 : 6, 127-29, juin 1959.
- STOIANOV E. — Prévention des explosions au cours de l'anesthésie. Khirurglia, 13 : 318-21, 1960, Sofia.
- TARJÁN I., GERGELY R., VOSZKA R., BOTAR G. — Dangers d'explosion en anesthésie : causes et rôle de l'électricité statique. Orv. Hetil., 97 : 32, 993-96, 5 août 1956, Budapest.
- THOMAS G.J. — Fires and explosions hazards with flammables anesthetics and their controls. J. Nat. Med. Ass., 52 : 397-403, nov. 1960.
- Preventing flammable anesth. accidents. Hospitals, 34 : 56-62, 10 août 1960.
 - Explosions in operating room: prevention. Texas J.M., 53 : 7, 519-25, juil. 1957.
 - Fires and explosions hazards with flammables anesthetics, agents and their control. J. Kentucky M.A., 54 : 27-32, janv. 1956.
 - Fires and explosions hazards in operating room with flammables anesthetics agent and their control. Bull. Am. Coll. Surgeons, 40 : 510-15, nov.-déc. 1955.

- THOMAS G.J. — Fires and explosions hazards in hospitals. *J. Lancet*, 74 : 415-20, oct. 1954.
- Fire and explos. hazards with flammables anesth. agents and their control. *Tr. Am. Acad. Opht.*, 57 : 193-99, mars-avril 1953.
- VAILLE C., GIRAUD M. — Thérapeutique et responsabilité médicale. *Bulletin d'informat. du Minist. de la Santé publ. et de la Populat.*, 2 : 17-114, 1959, Paris.
- VINCENT-ESPINASSE (Mme). — Facteurs d'explosion en anesthésie. *Anesth. Analgés.*, 18 : 593-97, oct.-déc. 1961, Paris.
- VIVIEN M. — Dispositions de sécurité dans les blocs opératoires. *Bulletin d'informat. du Minist. de la Santé publ. et de la Populat.*, 3-4 : 58-61, 1959, Paris.
- WALTER C.W. — Electrostatic in operating room. *Bull. Am. Coll. Surgeons*, 38 : 141-44, juil.-août 1953.
- WISHART J.M. — Explosion hazards in anaesthesia. *Canad. Anaesth. Soc. J.*, 4 : 2, 143-46, avril 1957, Toronto.
- WOODBIDGE Philip D. — Incidence of anesthetics explosions. *J.A.M.A.*, 113 : 26, 2308, 1939.
- NATIONAL FIRE PROTECTIVE ASSOCIATION. — Recommended safe practice for Hospital Operating Rooms. 60 Batterymarch Street, Boston 10, Massachusetts.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	5
CHAPITRE I. — <i>Données générales du problème posé par les explosions dues à l'emploi des gaz anesthésiques en salle d'opération :</i>	
— Causes	9
— Prévention	35
— Conséquences cliniques	63
CHAPITRE II. — <i>Exposé et discussion de cinq cas concrets d'explosions à la lumière des données générales du problème..</i>	71
CHAPITRE III. — <i>Evaluation de la fréquence et de la gravité des accidents d'explosion en salle d'opération rencontrés en pratique : données statistiques</i>	84
CHAPITRE IV. — <i>Problèmes médico-légaux posés par les explosions en anesthésie :</i>	
— Conceptions actuelles de la responsabilité dans l'acte anesthésiologique	88
— Application au cas particulier de l'emploi d'agents explosifs	100
CONCLUSIONS	111
BIBLIOGRAPHIE	117

TABLE DES MATIÈRES

1	CHAPITRE I	Introduction
2	CHAPITRE II	Les principes de la philosophie
3	CHAPITRE III	La méthode philosophique
4	CHAPITRE IV	La philosophie antique
5	CHAPITRE V	La philosophie médiévale
6	CHAPITRE VI	La philosophie moderne
7	CHAPITRE VII	La philosophie contemporaine
8	CHAPITRE VIII	La philosophie et la science
9	CHAPITRE IX	La philosophie et la religion
10	CHAPITRE X	La philosophie et la morale
11	CHAPITRE XI	La philosophie et la politique
12	CHAPITRE XII	La philosophie et l'art
13	CHAPITRE XIII	La philosophie et la littérature
14	CHAPITRE XIV	La philosophie et la vie
15	CHAPITRE XV	La philosophie et la culture
16	CHAPITRE XVI	La philosophie et la civilisation
17	CHAPITRE XVII	La philosophie et la société
18	CHAPITRE XVIII	La philosophie et l'humanité
19	CHAPITRE XIX	La philosophie et le monde
20	CHAPITRE XX	La philosophie et l'univers

